

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES



INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN

Proyecto Fin de Carrera

DISEÑO DE UNA ANTENA IMPRESA CIRCULAR OMNIAZIMUTAL CON ADAPTACIÓN MEJORADA

Autor:

Guillermo Fernández Lanao

Tutor:

José Luis Vázquez Roy

Noviembre 2012

A mis queridos padres y hermanos.

I.	OBJETIVOS Y ESPECIFICACIONES DE LA ANTENA	4
I.1.	Introducción a las antenas de parche y a los modos de radiación omniazimutal	4
I.1.1.	MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN	7
I.1.1.A.	Métodos de acoplo directo	8
I.1.1.A.1.	La alimentación coplanar	8
I.1.1.A.2.	La alimentación con sonda coaxial	8
I.1.1.A.3.	La alimentación con sonda coaxial modificada	9
I.1.1.B.	Métodos de acoplo indirecto	10
I.1.1.B.1.	Métodos de acoplo mediante ranura	10
I.1.1.B.2.	Métodos de acoplo electromagnético	11
I.1.2.	OBJETIVOS Y ESPECIFICACIÓN DE LA ANTENA	12
II.	SIMULACIONES Y ESTUDIOS PREVIOS	14
II.1.	Modo TM₁₀ (Broadside) en parche circular	14
II.1.1.	PARCHE ALIMENTADO POR SONDA COAXIAL	14
II.1.2.	PARCHE ALIMENTADO POR SONDA COAXIAL MODIFICADA	15
II.1.3.	COMPARATIVA ENTRE AMBOS DISEÑOS	20
II.2.	Modo TM₀₁ (Omniazimutal) en parche circular	24
II.2.1.	PARCHE CONVENCIONAL CON POSTE CENTRAL	24
II.2.2.	SUSTITUCIÓN DE POSTE CENTRAL POR CUATRO PINES	26
II.2.3.	COMPARATIVA ENTRE AMBOS DISEÑOS	28
III.	PARCHE CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTOS CONCENTRADOS	30
III.1.	Modo TM₁₀ (Broadside)	31
III.2.	Modo TM₀₁ (Omniazimutal)	33
IV.	DISEÑO FINAL: PARCHE CONVENCIONAL EN MODO CERO, 4 PINES Y ELEMENTO DISTRIBUIDO EN PARALELO	36
V.	OPTIMIZACIÓN DEL PARCHE DISEÑADO EN IV	43
V.1.	Resultados de las simulaciones	46
V.2.	Medidas realizadas	53
VI.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	56
	<i>Relación de Figuras</i>	<i>58</i>
	<i>Relación de Tablas</i>	<i>61</i>
	<i>Bibliografía</i>	<i>62</i>

I. OBJETIVOS Y ESPECIFICACIONES DE LA ANTENA

I.1. INTRODUCCIÓN A LAS ANTENAS DE PARCHE Y A LOS MODOS DE RADIACIÓN OMNIAZIMUTAL

Las antenas impresas, y particularmente las antenas de parche, cobran cada día mayor protagonismo en diversos sistemas de comunicaciones, debido a las importantes ventajas que ofrecen frente a otros tipos de antena, como su versatilidad, su bajo coste, su conformabilidad...

Se trata de antenas de bajo contorno, conformadas de superficies que pueden ser, o no, planas, simples y de fabricación barata. Usan modernas tecnologías de impresión de circuitos, y son mecánicamente robustas cuando se montan en superficies rígidas. La forma particular y el modo son seleccionados de forma versátil en función de la frecuencia de resonancia, la polarización, el diagrama de radiación y la impedancia deseadas.

En su modo más sencillo de trabajo, las dimensiones se eligen de manera que el parche transforme la potencia inyectada en forma de radiación. Sus características permiten integrarlas en casi cualquier dispositivo, tanto específico como de consumo. Así, estas antenas se combinan con facilidad con circuitos integrados de microondas y son perfectas para ser empleadas como elementos de un array.

Por otro lado, permiten ser utilizadas en diversos rangos de frecuencia y, a menudo, en sistemas que operan entre 100MHz y 50GHz o que incluso llegan a superarlo. En cuanto a la polarización, un parche simple la presenta esencialmente lineal, aunque es posible combinar varios modos para conseguirla de tipo circular.

Una crítica que durante mucho tiempo se ha hecho es que a priori se trata de antenas de banda estrecha. Para paliar este problema existe bibliografía que plantea soluciones tales como la construcción apilada o la introducción de estructuras parásitas que consiguen

aumentar dicho ancho de banda. Por tanto no se trata de un inconveniente insalvable si se utiliza un diseño adecuado.

Una solución para este problema sería ajustar la permitividad del sustrato que se usa al construir antenas de este tipo. Una baja permitividad permite aumentar el ancho de banda pero a costa de disminuir la impedancia equivalente de la antena. En contrapartida, se sabe que un aumento de la permitividad consigue una disminución del tamaño de la antena, algo importante teniendo en cuenta que el destino de estas antenas es, en numerosas ocasiones, un aparato electrónico de consumo donde el espacio disponible para la instalación es muy reducido. Un aspecto importante a tener en cuenta es el hecho de que el ancho de banda de una antena de parche es aproximadamente proporcional al volumen que define éste, por lo que sustratos con espesores grandes llevan asociados anchos de banda grandes.

No se puede hablar de las antenas de parche sin hablar previamente de los circuitos microstrip, puesto que utilizan la misma tecnología.

Los antecedentes de los circuitos microstrip se remontan a los años 50, en que aparecieron los primeros circuitos impresos para microondas bajo el nombre de striplines. Una stripline está constituida por una tira delgada conductora sobre un dieléctrico, el cual posee dos capas metalizadas en el exterior, una en la parte superior y la otra en la parte inferior. Ambas placas tienen el mismo potencial. Por su arreglo balanceado, las striplines confinan la mayor parte de los campos (de forma TEM) dentro del dieléctrico. A partir de las striplines se empezó a utilizar una nueva forma de circuitería de microondas. Las líneas microstrip aparecieron publicadas por primera vez en 1952, muy cerca de la aparición de las striplines (1951). La diferencia en el nuevo modelo fue que se retiró la parte superior del sustrato dejando la línea conductora en el exterior. Conforme la tecnología fue avanzando y se fueron creando sustratos de menores pérdidas, el uso de las líneas microstrip fue aumentando ampliamente.

Como se indica al comienzo de este capítulo, las antenas tipo parche utilizan la tecnología de las líneas microstrip y es por ello que en este trabajo se pondrá énfasis en aspectos importantes de dicha tecnología.

Una antena de parche consta principalmente de un plano de masa, una capa de dieléctrico, un sustrato y una metalización¹. Debe incluir también un mecanismo de excitación. Se pueden ver dos antenas de parche simples y sus componentes básicos en la Figura I.1.

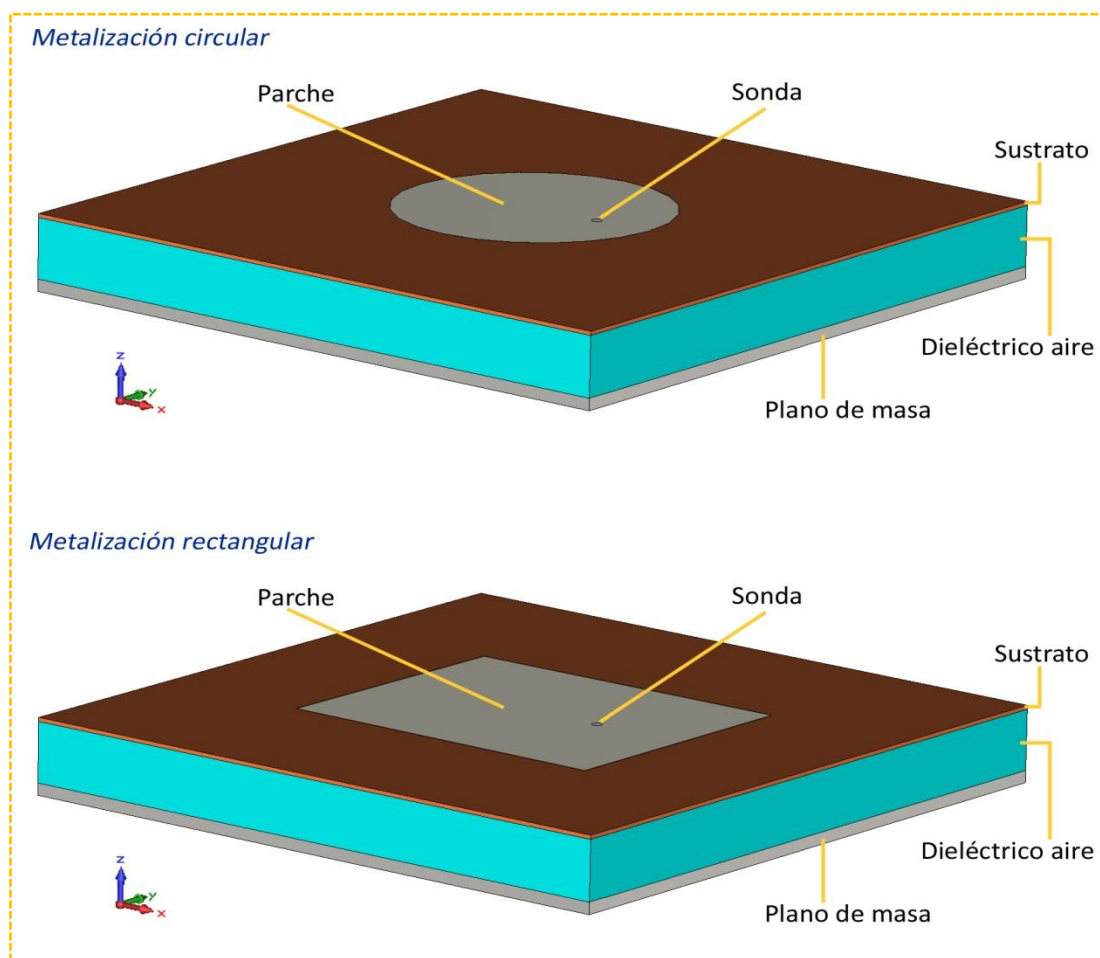


FIGURA I.1: ANTENA DE PARCHES SIMPLE CON METALIZACIONES CIRCULAR Y RECTANGULAR

Tanto en la antena microstrip como en el parche, casi todo el campo electromagnético queda confinado dentro del dieléctrico. El efecto de desbordamiento de campo se manifiesta en los cuatro costados y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico. La presencia de discontinuidades de tamaño comparable a la longitud de onda fuerza la radiación de la estructura. Ver Figura I.2.

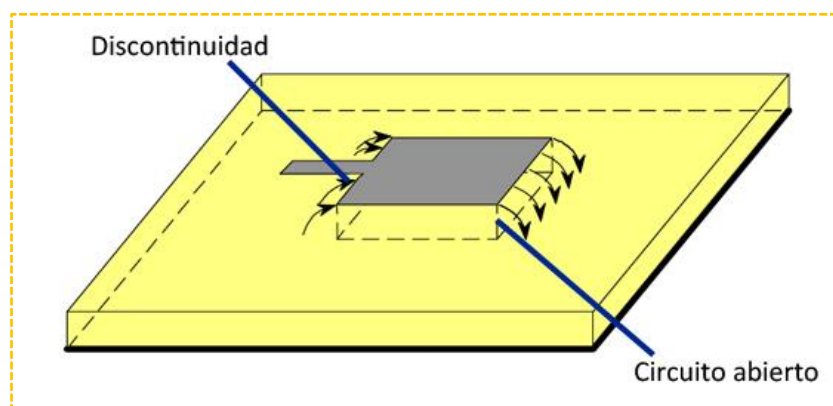


FIGURA I.2: EJEMPLO DE DESBORDAMIENTO DE CAMPO E EN ANTENA DE PARCHES

En cuanto a los modos de propagación, en una antena de parche convencional alimentada mediante sonda coaxial, el modo fundamental se denomina modo TM₁₀, asimilado al que se podría excitar en la cavidad ideal que define la metalización del parche, y tiene un diagrama de radiación perpendicular al plano de masa de la antena.

Sin embargo, existen además algunas topologías que permiten conseguir modos con distribuciones de campo con simetría de rotación que dan lugar a diagramas de radiación omniazimutalesⁱⁱ con respecto al eje Z que se indica en la Figura I.1. En este caso, suelen emplearse parches y planos de masa circulares para preservar la simetría de revolución, evitando la difracción asociada a las esquinas.

Una de estas topologías, que será estudiada más adelante, consiste en introducir un cortocircuito entre el centro del parche y el plano de masa inferior mediante un hilo o poste conductorⁱⁱⁱ. El parche queda alimentado por una sonda coaxial, que se encuentra igualmente conectada al parche a través del plano de masa y el dieléctrico del sustrato. El diagrama de radiación resultante se convierte en omniazimutal, similar al de un dipolo, momento en el que aparece el modo TM₀₁ (también llamado modo cero) como primer modo de la distribución.

Este cortocircuito abre un abanico de nuevas posibilidades y ventajas^{iv}. En capítulos sucesivos se profundizará en ello, pues constituye un tema clave para la realización de este proyecto.

A continuación se describen los métodos de alimentación más comunes de las antenas de parche. A partir de esta descripción y de lo ya introducido se establecen los objetivos básicos de este proyecto.

I.1.1. MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN

Existen varios métodos para alimentar las antenas microstrip, siendo los siguientes los más empleados:

- MÉTODOS DE ACOPLO DIRECTO
 - ✓ Mediante alimentación coplanar
 - ✓ Alimentadas mediante sonda coaxial
 - ✓ Sonda coaxial modificada
- MÉTODOS DE ACOPLO INDIRECTO
 - ✓ Acopladas mediante ranura
 - ✓ Acopladas electromagnéticamente

A continuación se da una breve descripción de cada uno de ellos:

I.1.1.A. MÉTODOS DE ACOPLO DIRECTO

Los métodos de acoplo directo se vienen utilizando con frecuencia desde hace bastante tiempo aunque, en ocasiones, presentan la desventaja de ofrecer un estrecho margen de maniobra en el ajuste de parámetros.

I.1.1.A.1. LA ALIMENTACIÓN COPLANAR

La alimentación coplanar consiste en conectar directamente al parche una línea de transmisión. La principal dificultad de este sistema de alimentación es reducir la alta impedancia que aparece justo en el borde del parche. En la Figura I.3 se muestra una antena microstrip alimentada mediante esta técnica.

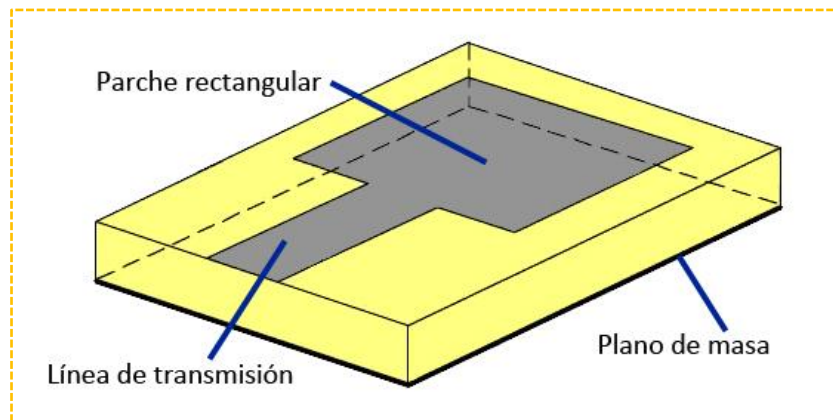


FIGURA I.3: ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON LÍNEA DE TRANSMISIÓN

I.1.1.A.2. LA ALIMENTACIÓN CON Sonda COAXIAL

La alimentación con sonda coaxial se realiza colocando la sonda perpendicular al plano de masa y al parche (Figura I.4). Tiene la ventaja de que la red de excitación –coaxial– se desacopla del elemento radiante –parche–, aunque, como inconveniente, presenta una inductancia extra (L) introducida por la sonda.

A lo largo de este estudio se realizan varias simulaciones empleando este método.

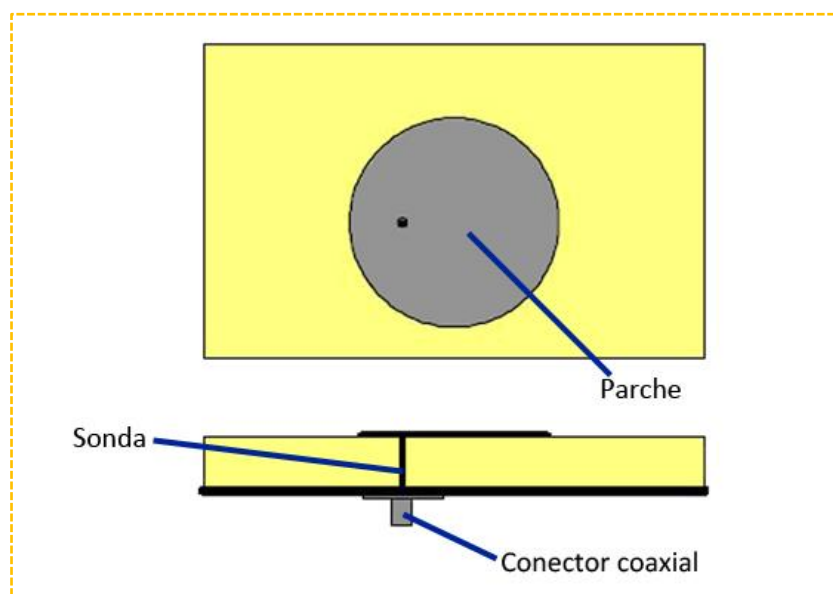


FIGURA I.4: ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL

I.1.1.A.3. LA ALIMENTACIÓN CON Sonda COAXIAL MODIFICADA

Dentro de las múltiples posibilidades encaminadas a ensanchar la banda de trabajo nos centramos en un método de alimentación que nació con el propósito de mejorar el ancho de banda de una antena de parche alimentada mediante una sonda coaxial simple trabajando en el modo dominante broadside. Consiste en añadir un pequeño parche rectangular, contiguo al parche principal, alimentado en su centro por la sonda coaxial. Tanto el elemento radiante como el parche pequeño se apoyan en un sustrato dieléctrico que se suspende en el aire^v. En la Figura I.5 se muestra la estructura de estas antenas con el parche radiante en formas rectangular, circular y anular respectivamente y el nuevo mecanismo de alimentación mediante sonda coaxial modificada. Este método de alimentación mejora el ancho de banda respecto al de una antena similar alimentada directamente al parche central.

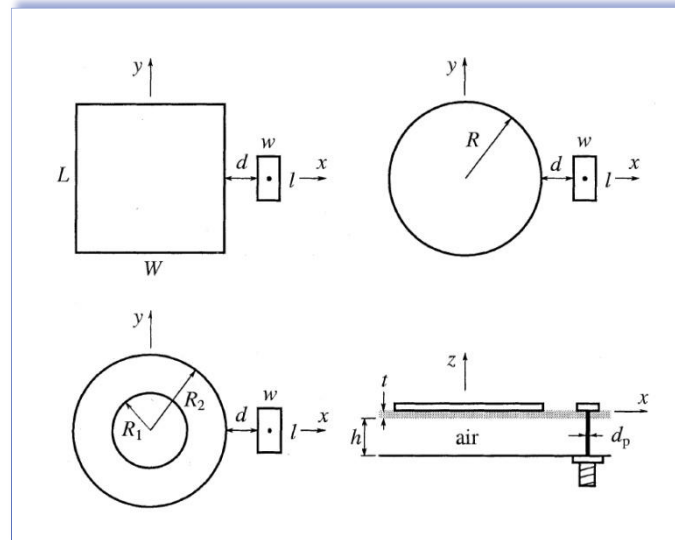


FIGURA 1.5: ANTENAS CON EL PARCHE CIRCULAR, RECTANGULAR Y ANULAR ALIMENTADAS CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

En la Figura 1.6 se puede ver un equivalente circuital al modelo de antena de parche alimentado por sonda coaxial modificada. En dicha figura se observa la inductancia extra parásita (L_1) introducida por la sonda y cómo es compensada por el gap capacitivo formado por los dos parches de la capa superior (C_2), lo que corrige el inconveniente que presenta el método de alimentación mediante sonda coaxial convencional.

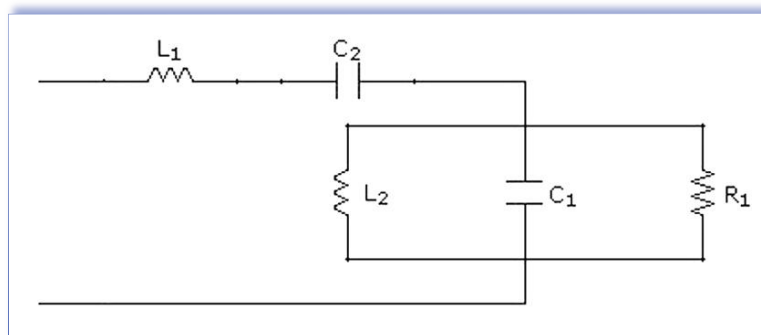


FIGURA 1.6: CIRCUITO EQUIVALENTE A UNA ANTENA DE PARCHE CONVENCIONAL

I.1.1.B. MÉTODOS DE ACOPLO INDIRECTO

Los métodos de acoplo indirecto surgen como alternativa a los métodos de acoplo directo ya presentados. Se trata de que la alimentación no entre en contacto con el parche.

I.1.1.B.1. MÉTODOS DE ACOPLO MEDIANTE RANURA

El modelo de acoplo mediante ranura consiste en añadir dos sustratos a la antena de parche, los cuales, de forma general, presentan alta y baja permitividad para favorecer el guiado y la

radiación respectivamente. Ambos sustratos están separados por un plano de masa al que se le ha sustraído una parte en forma de ranura, tal y como se muestra en la Figura I.7. En la parte inferior del segundo sustrato hay una línea microstrip de alimentación cuya energía se acopla al parche a través de la ranura realizada en el plano de masa que separa los dos sustratos. Esta línea microstrip termina en un *stub* en circuito abierto. Esta configuración permite optimizar de forma independiente el mecanismo de alimentación y el elemento radiante.

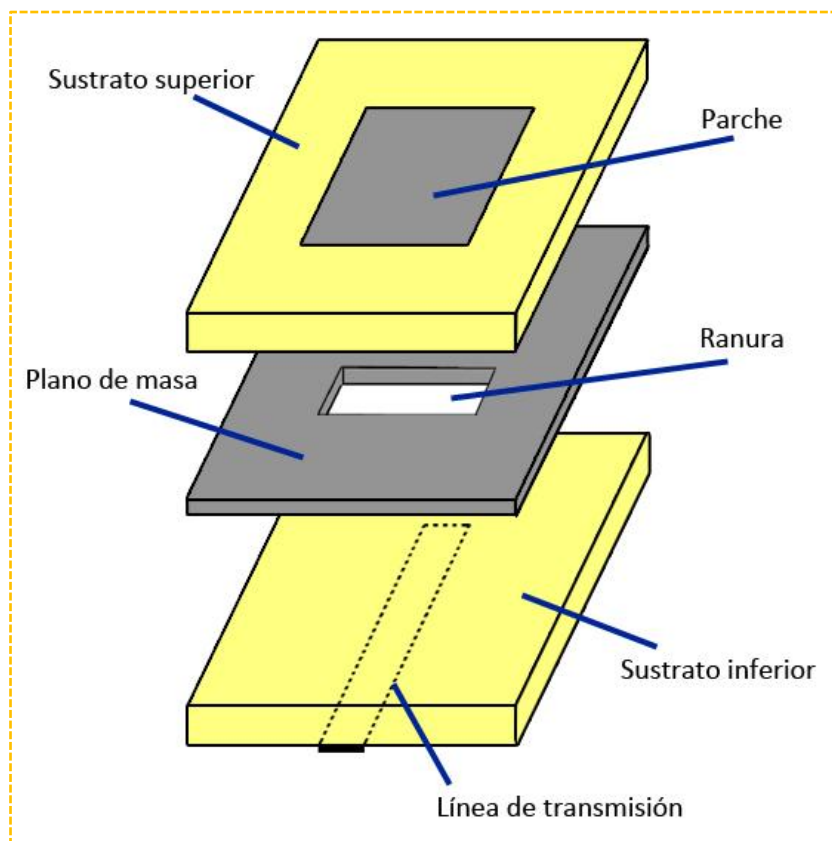


FIGURA I.7: ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN DE ACOPLO POR RANURA

I.1.1.B.2. MÉTODOS DE ACOPLO ELECTROMAGNÉTICO

Este método consiste en añadir dos capas de dieléctricos a la antena de parche, lo que aporta mayor grado de libertad en la implementación del diseño. La configuración varía respecto al método anterior porque presenta dos sustratos entre el parche y el plano de masa (Figura I.8).

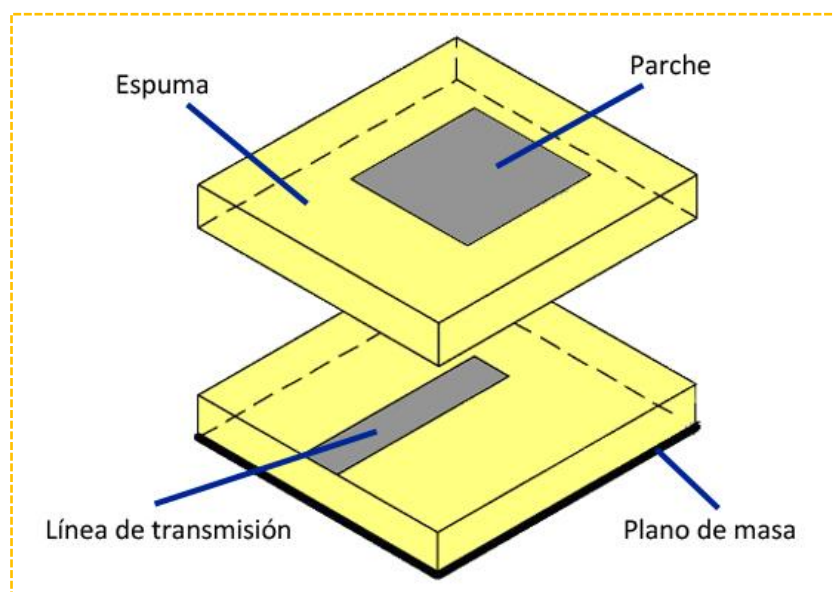


FIGURA I.8: ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON ACOPLO ELECTROMAGNÉTICO

Sobre el sustrato inferior va situada la línea de transmisión y está separada del parche por el sustrato superior. Este modelo permite aplicar métodos de ensanchamiento de banda de forma sencilla con una correcta elección de los dieléctricos. La técnica de acoplamiento electromagnético es muy utilizada en la construcción de arrays de antenas. Sobre el sustrato superior se colocarían los parches y la red de alimentación estaría situada entre dicho sustrato y el inferior. Según documentación existente, una de las fases críticas de la construcción de este tipo de parches es la de la alineación de las capas de la antena y la alimentación^{vi}.

I.1.2. OBJETIVOS Y ESPECIFICACIÓN DE LA ANTENA

Los diseños de antenas de parche para el modo TM₀₁ (modo cero) que existen actualmente presentan un ancho de banda estrecho y en general una mala adaptación. Con esta premisa y sobre la base de artículos previos sobre la materia, se pretende –partiendo de un parche convencional– diseñar y optimizar un parche cortocircuitado donde se excita dicho modo, que mejore la adaptación de la antena y maximice su ancho de banda.

Algunos de los mecanismos que previsiblemente permitirán alcanzar estos objetivos son el cortocircuitado mediante pines, la adición de elementos concentrados y la sustitución de estos últimos por *stubs*, como sugieren diferentes publicaciones al respecto^{vii}.

Previamente, se aplicarán los citados mecanismos en antenas de parches que trabajen en modo TM₁₀, para poder comparar los resultados obtenidos en cada modo y determinar si ciertas modificaciones afectarían de igual forma a ambos tipos de antena.

En este documento se presentan simulaciones y comparativas realizadas a lo largo de este proyecto y se muestran los resultados conseguidos y las conclusiones que de ellos se desprenden. Cabe reseñar que, para lograr cada una de las figuras que se incluyen en el presente trabajo, previamente se han realizado numerosas simulaciones en las que se ha debido ir ajustando los diferentes parámetros hasta conseguir los resultados optimizados que finalmente se muestran aquí. Además, a medida que estos resultados se han ido obteniendo, se ha ido determinando la dirección de este estudio.

En los diseños simulados se ha trabajado con frecuencias centrales en los rangos de 1GHz y 2GHz, se ha fijado en 10dB el objetivo de adaptación de las antenas y, para la posterior fabricación de las mismas, se han utilizado espumas y sustratos de bajo coste. También se ha utilizado un plano de masa circular para minimizar la difracción provocada por las esquinas de los planos de masa rectangulares en los diagramas de radiación omniazimutales.

En todos los casos se han utilizado espumas de espesores grandes, al menos de 10mm con la idea de maximizar el ancho de banda del funcionamiento de la antena.

Para el cálculo de los anchos de banda de los diferentes casos estudiados, se ha normalizado la frecuencia de trabajo en los resultados obtenidos, mostrando siempre los anchos de banda relativos.

Las simulaciones se han realizado con el programa *CST Microwave Studio 2010*^{viii}, específico para el diseño y posterior simulación de antenas. Este programa ofrece resultados muy ajustados, equivalentes a los experimentales obtenidos con la antena física ya construida. Como complemento a las simulaciones llevadas a cabo con ese programa, se ha utilizado el programa *AWR Design Environment (Micro Wave Office)*^{ix}, gracias al cual se han optimizado parámetros y gráficas y, en la última fase del proyecto, se han ajustado los *stubs* utilizados.

Para cada uno de los prototipos que van a describirse se presentarán ilustraciones que incluyen una visión de la antena en perspectiva, un diagrama de radiación en 3D y dos diagramas más: uno en el plano ZY y otro en el plano XY. Además, en los apartados que corresponde, se ha añadido una quinta ilustración en la que se ven las dimensiones más significativas de la antena objeto de estudio.

II. SIMULACIONES Y ESTUDIOS PREVIOS

II.1. MODO TM₁₀ (BROADSIDE) EN PARCHE CIRCULAR

II.1.1. PARCHE ALIMENTADO POR SONDA COAXIAL

Se considera modo broadside al que presenta un diagrama de radiación con el máximo apuntando en la dirección de la perpendicular al plano que contiene la antena. Es el primer modo que aparece al fabricar una antena de parche simple alimentada por sonda coaxial (Modo TM₁₀).

En el primer diseño llevado a cabo en este proyecto se simuló una antena de parche circular convencional centrada en una frecuencia de 2GHz, donde se demuestra el anterior enunciado.

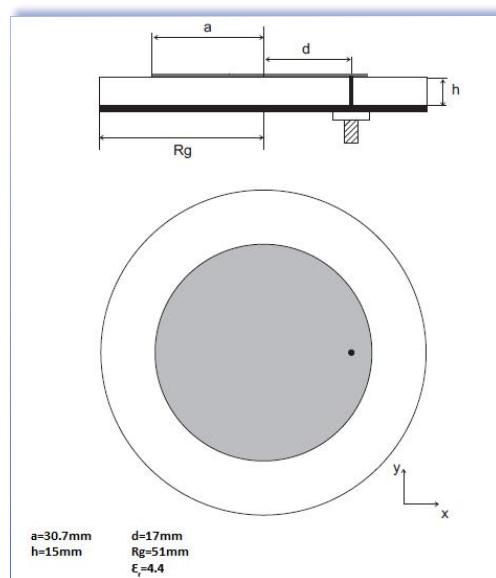


FIGURA II.1: MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE. MODO BROADSIDE

La antena está compuesta por un plano de masa sobre el que apoya un dieléctrico aire, sobre el que, a su vez, se apoya el sustrato de fibra de vidrio FR4 con ϵ_r , encima del cual se asienta el

parche radiante. La alimentación se realiza con una sonda coaxial. Las medidas utilizadas en este diseño se observan en la Figura II.1.

En la Figura II.2 se puede observar el diseño de la antena y los resultados de la simulación mostrados mediante su diagrama de radiación en 3D, en el plano ZY y en el plano XY. Como puede apreciarse, el máximo de radiación apunta al eje Z positivo, lo que confirma claramente que nos encontramos ante un modo broadside.

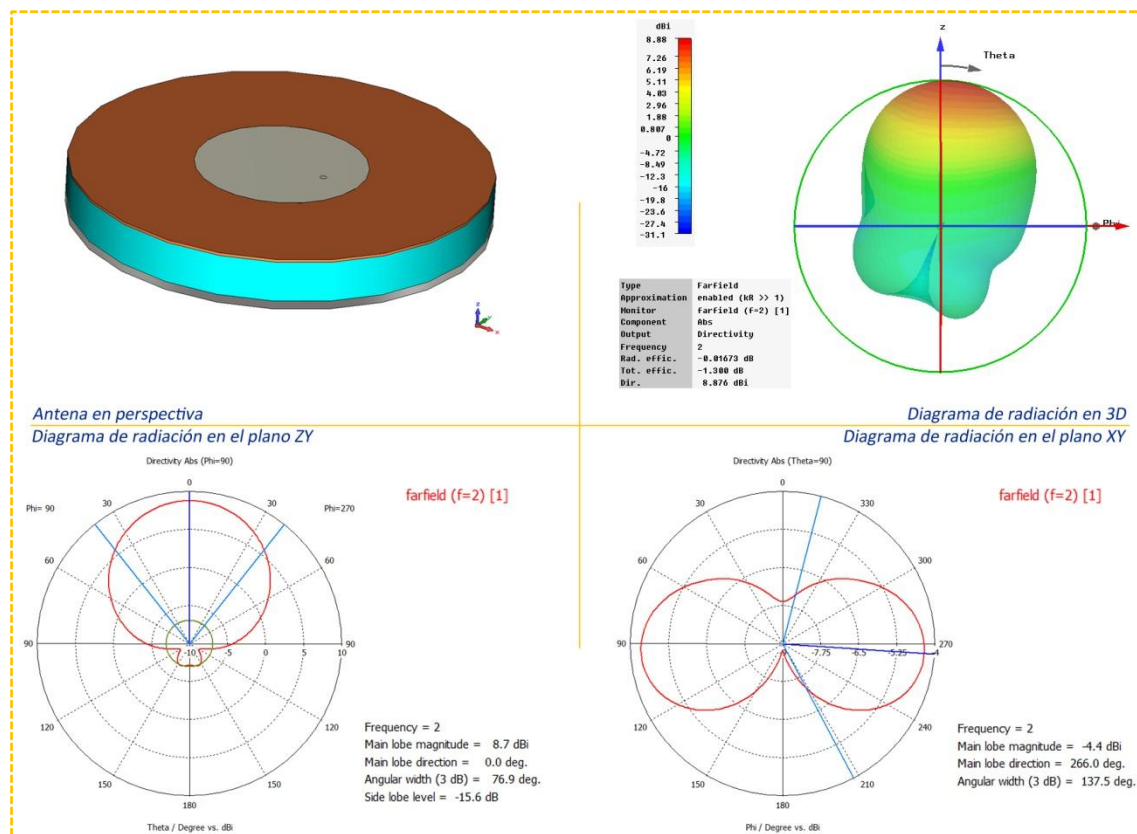


FIGURA II.2: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE. MODO BROADSIDE

Este modelo de antena con parche alimentado por sonda coaxial sirvió como base para llevar a cabo los diseños posteriores.

II.1.2. PARCHE ALIMENTADO POR SONDA COAXIAL MODIFICADA

Como se ha explicado anteriormente (apartado I.1.1.A.3), existe un modo de alimentación mediante sonda coaxial modificada que ensancha la banda de la antena frente a las de las alimentadas mediante sonda coaxial simple.

En esta sección se analizan los resultados obtenidos tras las simulaciones realizadas con este mecanismo de excitación, así como las variaciones en la respuesta que se han producido al modificar ciertos parámetros en el diseño de la antenna. Las simulaciones de este modelo se han hecho centrando el diagrama de radiación en la banda de 2GHz.

La Figura II.3 muestra la estructura de la antenna simulada con el mecanismo de alimentación mediante sonda coaxial modificada, consistente en un parche circular central y otro parche pequeño contiguo alimentado por la sonda.

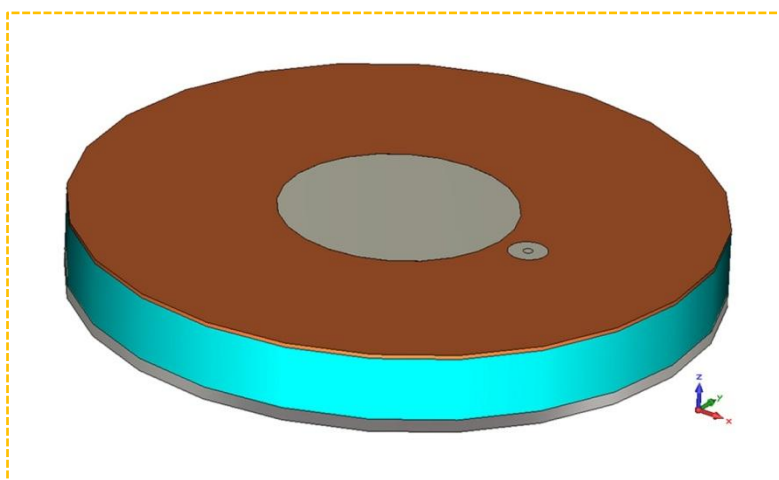


FIGURA II.3: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

La sonda de alimentación se coloca en el centro del parche pequeño. Tanto el elemento radiante como el parche pequeño se asientan sobre un sustrato suspendido en espuma.

En la Figura II.4 se puede apreciar mejor cómo la sonda alimenta un parche pequeño situado junto al parche principal. Se han ocultado el dieléctrico aire y el sustrato para apreciar mejor la estructura física de la antenna.

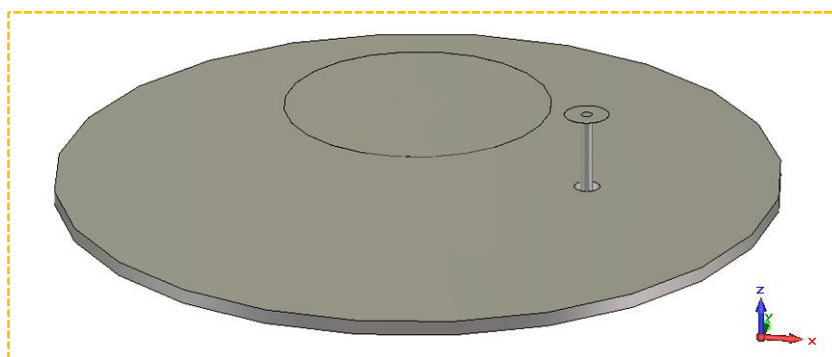


FIGURA II.4: ESTRUCTURA FÍSICA DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

En la Figura II.5 se puede observar el diseño de la antenna y los resultados de la simulación mostrados mediante su diagrama de radiación en 3D, en el plano ZY y en el plano XY.

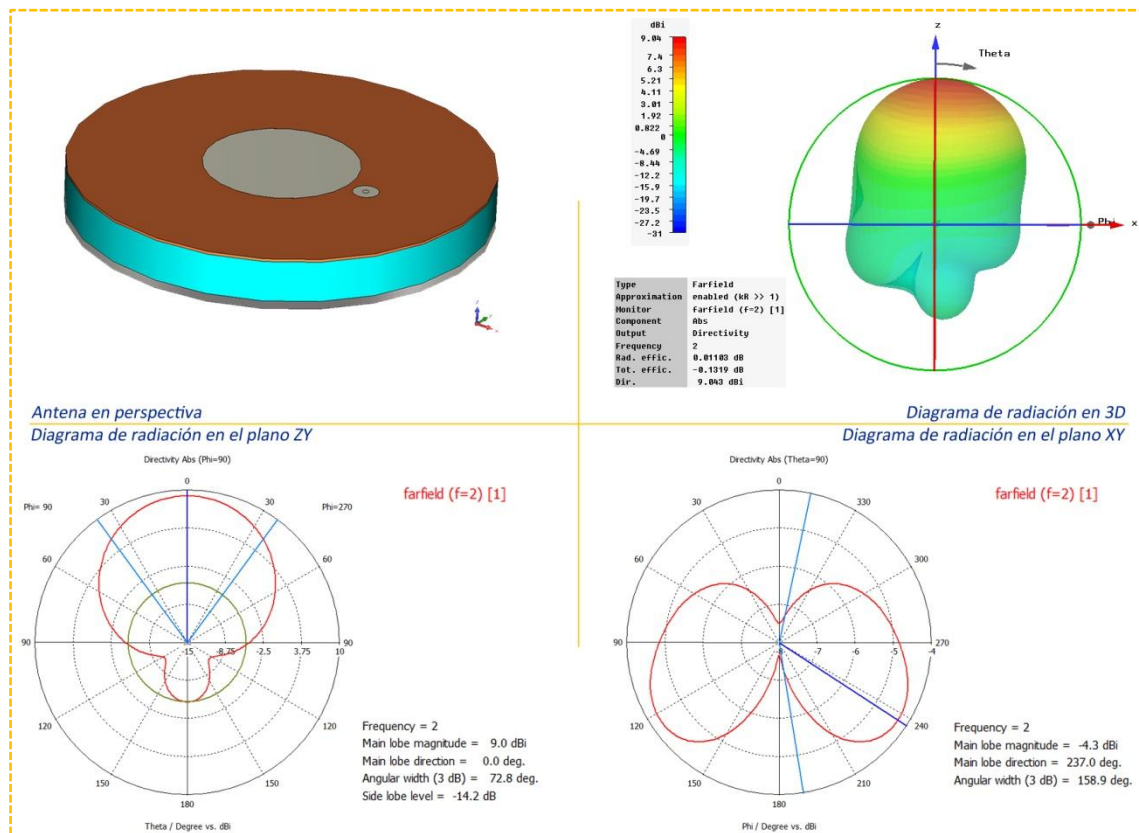


FIGURA II.5: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. MODO BROADSIDE

Las medidas utilizadas en el diseño de esta antena pueden verse en la Figura II.6.

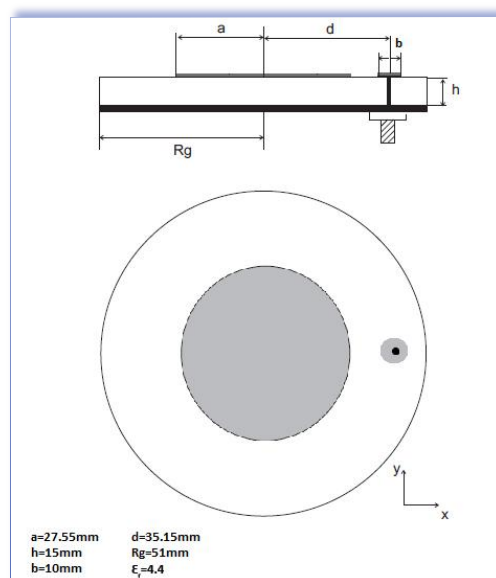


FIGURA II.6: MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. MODO BROADSIDE

Una ventaja significativa de la alimentación mediante sonda coaxial modificada frente a la alimentación mediante sonda coaxial simple, es la aparición de dos nuevos parámetros que

permiten controlar la impedancia de entrada de la antena: la distancia entre parches y el radio del parche pequeño.

En la Figura II.7 se expone una gráfica con el S11 obtenido en el diseño de la antena. Según refleja la gráfica, el ancho de banda obtenido a -10dB es del 36,25%. La fórmula mediante la cual se llega a este resultado es la siguiente:

$$BW = (2,457\text{GHz} - 1,703\text{GHz}) / 2,08\text{GHz} = 0.3625\text{GHz} = 362,5\text{MHz} = 36,25\%$$

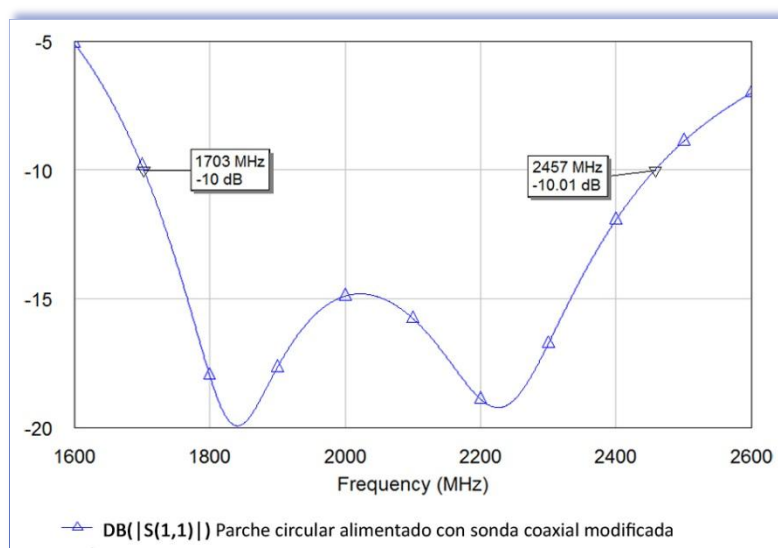


FIGURA II.7: S11 DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

Por otro lado, la Carta de Smith muestra un lazo perfectamente centrado (Figura II.8).

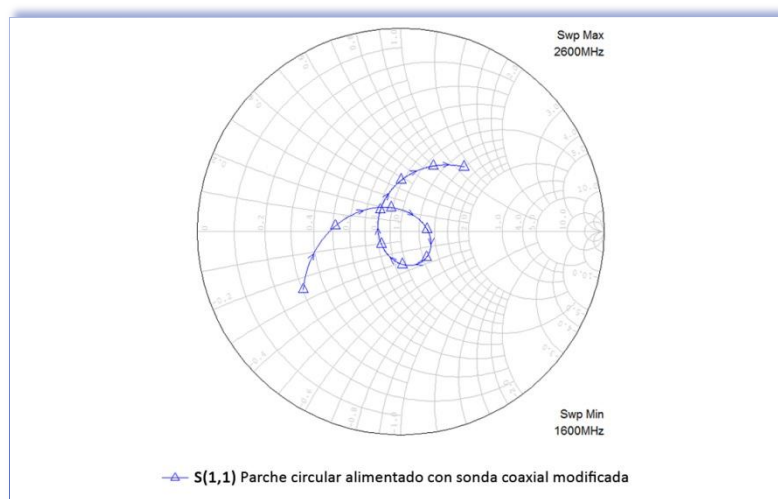


FIGURA II.8: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

Se ha considerado interesante mostrar cómo repercute en los diagramas la variación de parámetros como la distancia entre parches o el radio del parche pequeño.

En la Figura II.9 y la Figura II.10 se pueden observar los resultados del S11 y la Carta de Smith de diversas simulaciones en la que se ha variado la distancia entre parches. Puede apreciarse que, a medida que aumenta esta variable –valores tomados entre 5 y 20mm.–, el lazo se desplaza hacia la izquierda y su tamaño va disminuyendo hasta llegar a un punto en el que desaparece completamente.

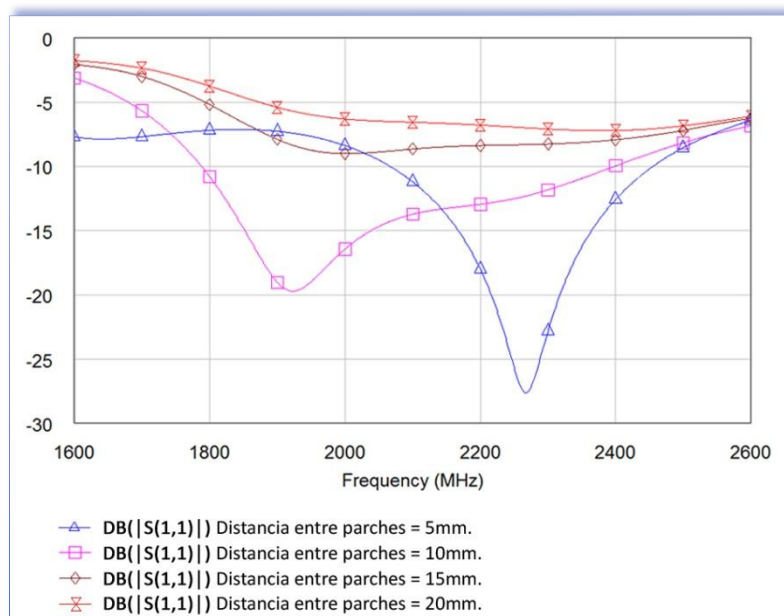


FIGURA II.9: S11 DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE PARCHES

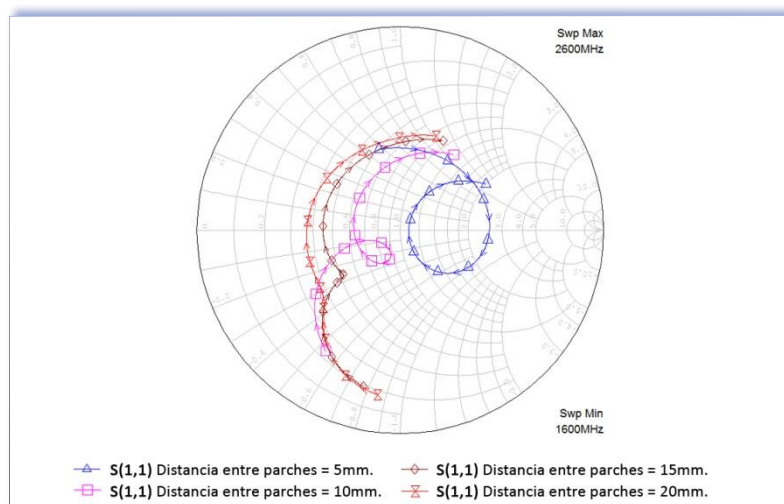


FIGURA II.10: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE PARCHES

En la Figura II.11 y la Figura II.12 se pueden observar los resultados del S11 y la Carta de Smith de diversas simulaciones en la que se ha variado el radio del parche pequeño. Puede apreciarse que, a medida que disminuye el radio, el gráfico se desplaza hacia la izquierda y el tamaño del lazo se va haciendo cada vez menor. Además, en la Carta de Smith se puede ver un

desplazamiento desde la parte inductiva a la parte capacitiva (en reactancia) a medida que el radio decrece.

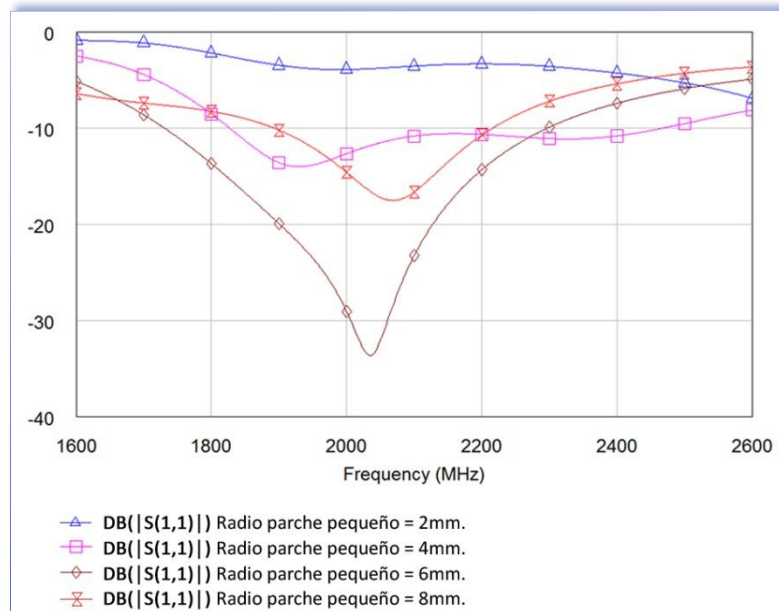


FIGURA II.11: S_{11} DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DEL RADIO DEL PARCHE PEQUEÑO

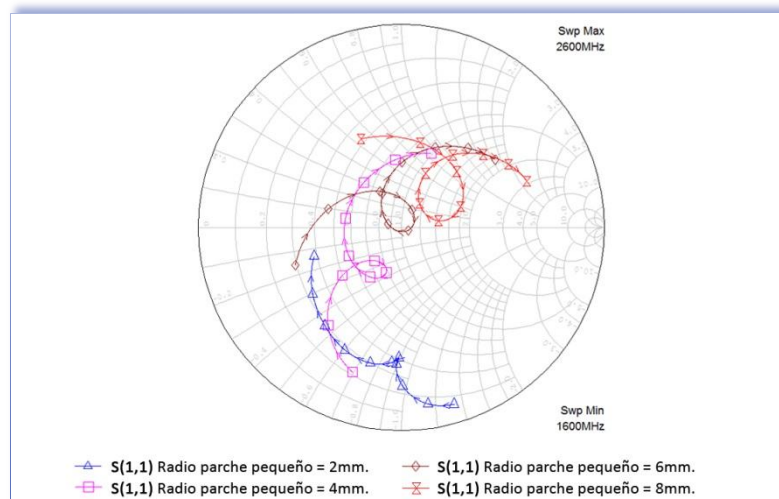


FIGURA II.12: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DEL RADIO DEL PARCHE PEQUEÑO

II.1.3. COMPARATIVA ENTRE AMBOS DISEÑOS

Tras haber realizado diversas pruebas para optimizar los modelos de antenas de parche alimentadas mediante sonda coaxial simple y mediante sonda coaxial modificada, en este

último apartado del modo broadside se presenta una comparativa de los resultados obtenidos para ambos modelos.

En la Figura II.13 queda demostrado que, cuando se trabaja con el modo broadside, la alimentación mediante sonda coaxial modificada presenta ventajas significativas frente a la alimentación mediante sonda coaxial simple en lo que a ancho de banda se refiere.

Este esquema de figura se repetirá en lo sucesivo, en las ocasiones en las que se desee mostrar comparativas entre dos simulaciones distintas. El esquema es sencillo: una tabla de dos columnas, dedicada cada una de ellas a cada simulación respetivamente y varias filas en las que vienen representadas las dos antenas en 3D, sus diagramas de radiación en 3D y sus diagramas en los planos ZY y XY. Se pretende con ello ofrecer una visión clara y rápida de la comparación entre los dos diseños objeto de estudio.

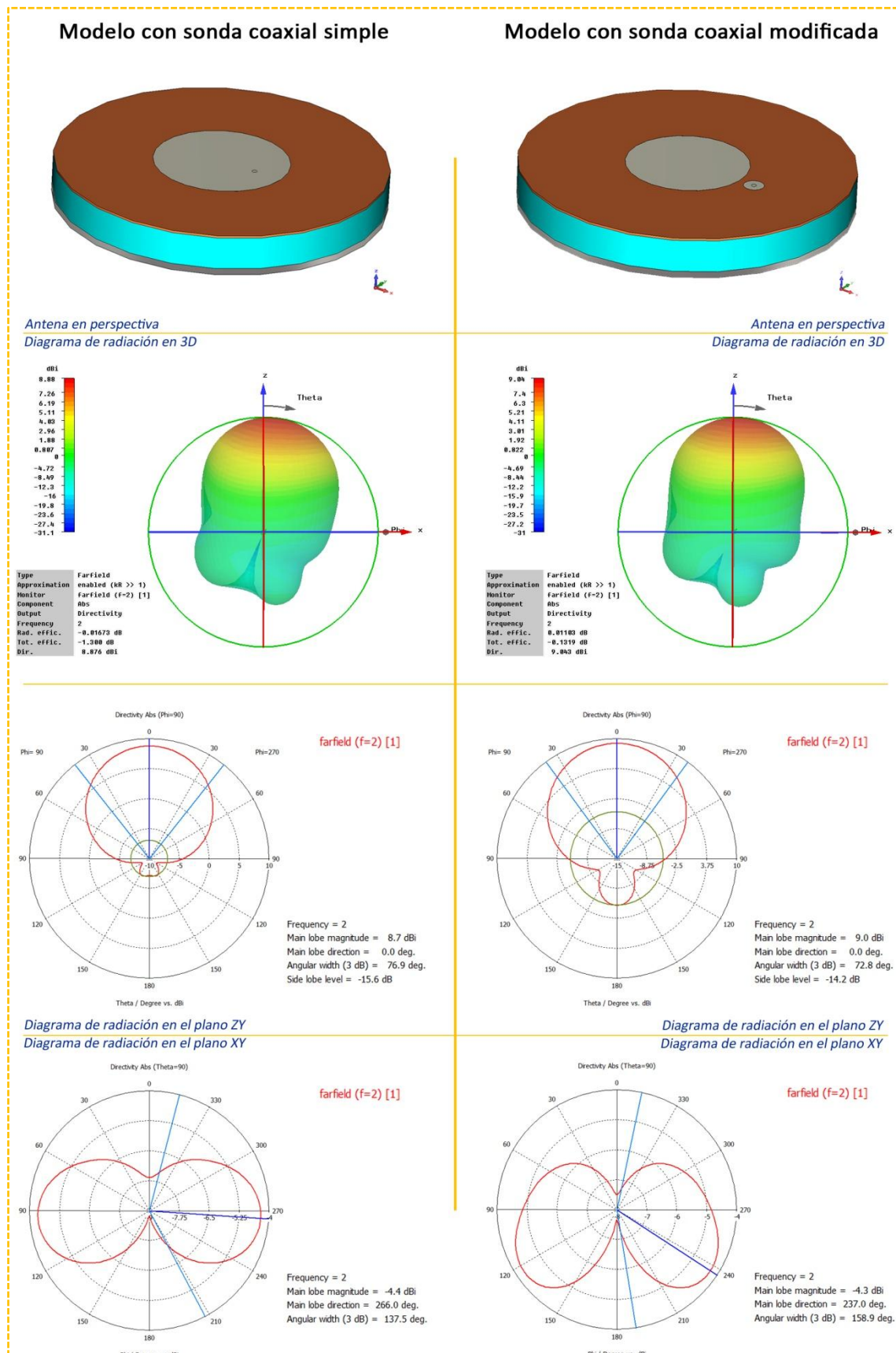


FIGURA II.13: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA. MODO BROADSIDE

En la Figura II.14 se observa el S_{11} de ambos diseños y, como puede verse, existen valores que alcanzan los -20dB para el caso de la sonda coaxial modificada, mientras que en el caso de la sonda coaxial simple apenas roza los -7dB con un ancho de banda significativamente menor. Esto es debido al hecho de que la altura elevada del sustrato lleva asociada una inductancia de la sonda de valor apreciable lo que influye en la adaptación final de la antenna.

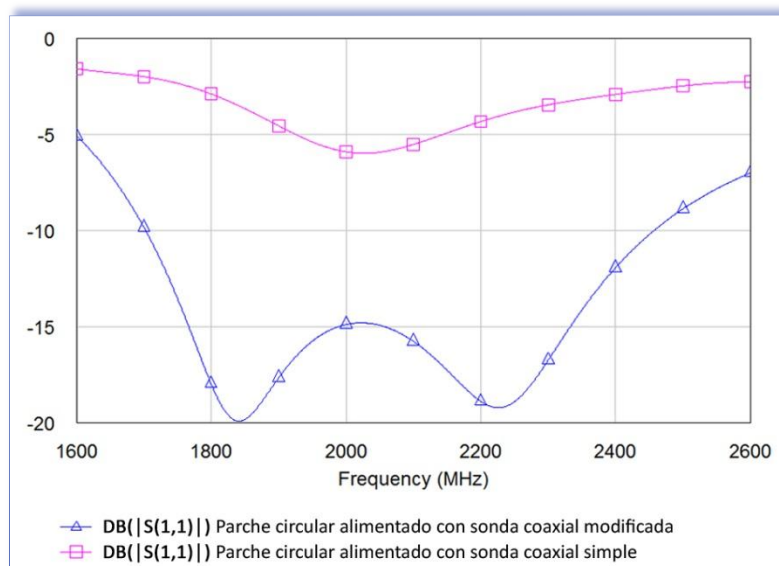


FIGURA II.14: S_{11} CON COPARATIVA DEL PARCHES CIRCULAR PARA LOS CASOS ALIMENTADOS CON SONDA COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA

En la Carta de Smith, para el caso de la sonda coaxial modificada, aparece un lazo mucho más centrado, lo que confirma de nuevo que, para el modo TM_{10} (broadside), la alimentación mediante sonda coaxial modificada ofrece ventajas frente a la alimentación con sonda coaxial simple. Ver Figura II.15.

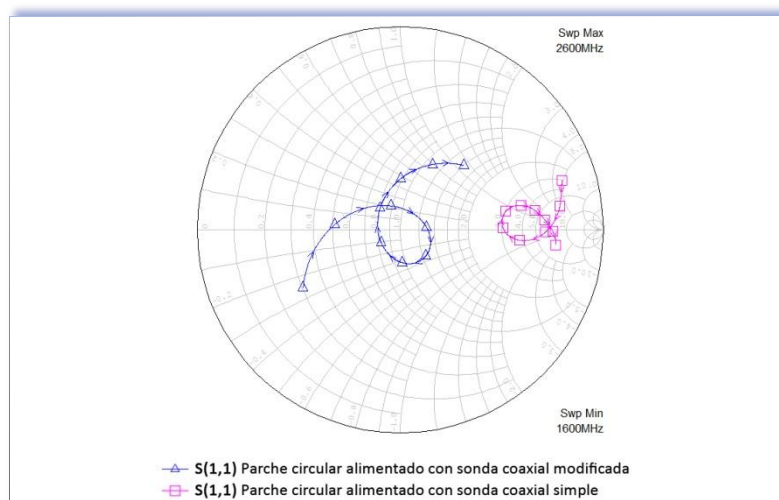


FIGURA II.15: CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHES CIRCULAR PARA LOS CASOS ALIMENTADOS CON SONDA COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA

II.2. MODO TM01 (OMNIAZIMUTAL) EN PARCHE CIRCULAR

II.2.1. PARCHE CONVENCIONAL CON POSTE CENTRAL

Como ya se comentó en la introducción, está demostrado que, mediante el uso de un cortocircuito cuyo tamaño esté optimizado, se puede conseguir una distribución de campo omniazimutal –Figura II.16– similar a la de un dipolo^x.

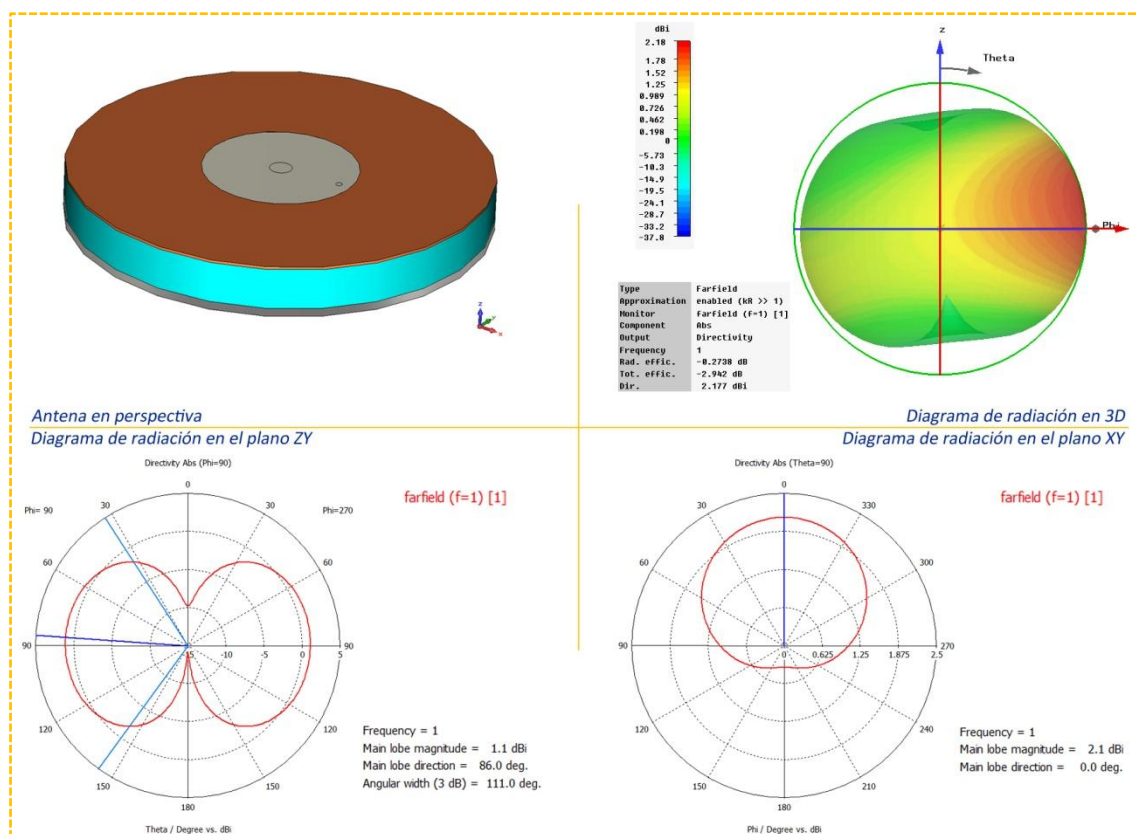


FIGURA II.16: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CON CORTOCIRCUITO CENTRAL. MODO CERO

Esta distribución de campo proporciona diagramas de radiación monopulares omniazimutales, aunque para la versión más sencilla, el ancho de banda en cuanto a pérdidas de retorno (RL) es limitado (generalmente por debajo del 5%)^{xi}.

Como ya quedó dicho en la introducción, en una antena de parche circular, la instalación de un cortocircuito en el centro del parche con un conductor concéntrico –Figura II.17– consigue que el S11 a la frecuencia de resonancia del modo TM01 –el primer índice corresponde a la variación del azimut– se desplace hacia abajo en comparación con el parche circular

convencional. En este primer contacto con el modo cero, se partió de la antena diseñada en el apartado II.1.1 pero añadiendo un cortocircuito central. Los valores físicos utilizados para esta simulación se pueden ver en la Figura II.18. Más adelante y puesto que ya se ha demostrado en el apartado II.1.3 que la sonda coaxial modificada presenta ventajas frente a la sonda coaxial simple para el modo broadside, se decidió investigarla también en el estudio de los parches cortocircuitados.

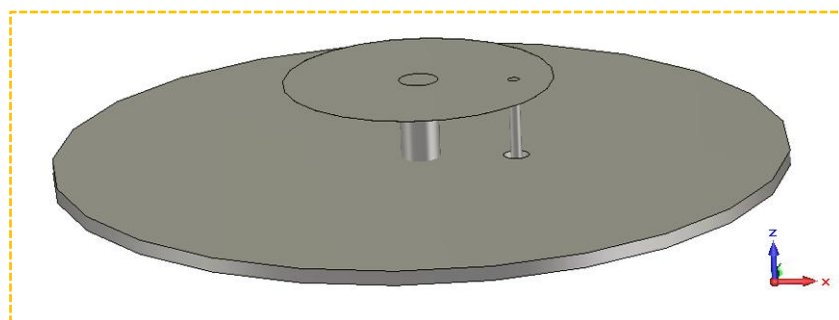


FIGURA II.17: ESTRUCTURA FÍSICA DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA

Como se muestra en la Figura II.18, el parche tiene un radio exterior “ a ”, un cilindro cortocircuitado de radio “ b ”, y está impreso en la parte superior de un sustrato de espesor “ h ”. La antena se alimenta a través de una sonda coaxial situada a una distancia “ d ” del centro del parche. A partir de ahora, en todos los casos que siguen se ha utilizado un espesor de espuma de valor $h=10\text{mm}$.

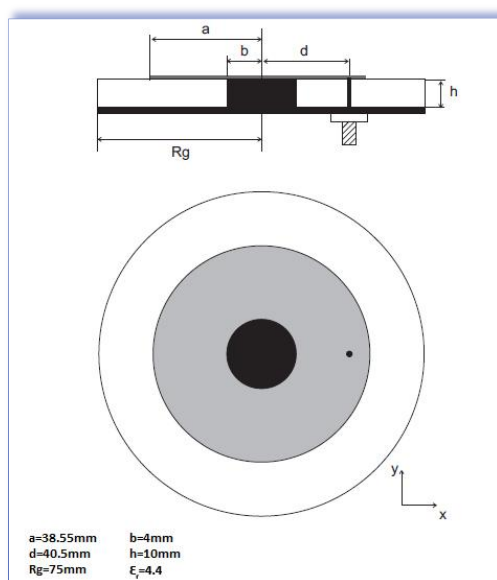


FIGURA II.18: MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA. MODO CERO

La ventaja del parche cortocircuitado con respecto a un dipolo (ver Figura II.19) es que se reduce el tamaño de la antena y se sigue obteniendo un diagrama similar. A modo ilustrativo se podría hablar de las antenas de los equipos radio instalados en vehículos o aeronaves – dipolos– que podrían ser sustituidas por antenas de parche cortocircuitadas y mejorar así su resistencia aerodinámica.

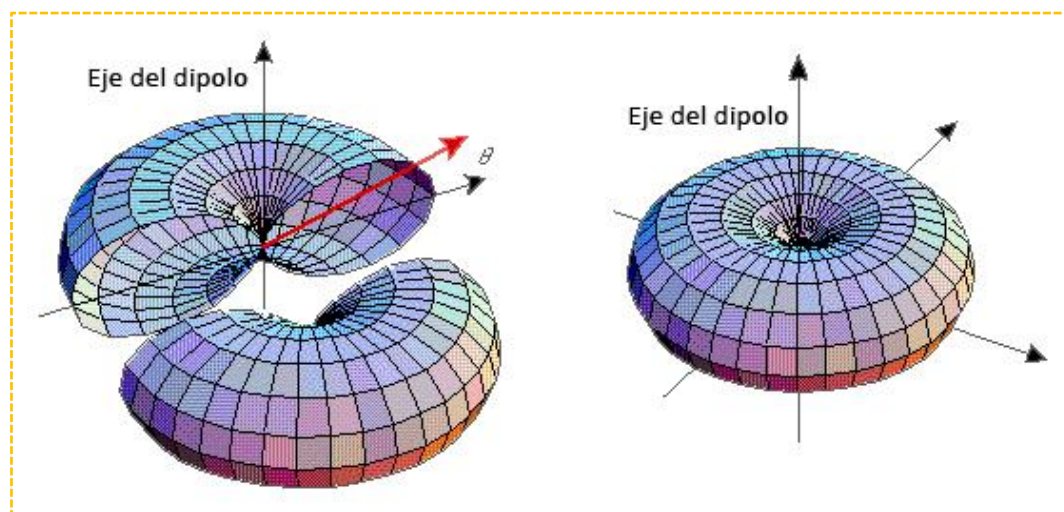


FIGURA II.19: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE UN DIPOLO

II.2.2. SUSTITUCIÓN DE POSTE CENTRAL POR CUATRO PINES

Para facilitar la construcción de la antena anterior es posible sustituir el cilindro conductor central por cuatro pines cortocircuitados (Figura II.20). Con ello se simplifica el proceso de fabricación y además, después de esta modificación, no se observa un empeoramiento en las pérdidas de retorno del ancho de banda. Con este cambio se facilita la implementación de la antena y su posterior adaptación en función de los parámetros buscados. De hecho, existen múltiples referencias en la literatura que hablan de los beneficios de la utilización de pines cortocircuitados añadidos a estructuras convencionales de parche para lograr antenas compactas^{xii}. Por otra parte, es necesaria una elección adecuada del número de pines y su posición para conseguir un aumento en el ancho de banda, puesto que la respuesta se puede optimizar alterando los valores de estos parámetros.

La posición de estos pines se puede cambiar con el objetivo de modificar su carga reactiva y mejorar el ancho de banda. Nótese que la distancia al origen de cada pin se mantiene constante obteniendo un plano simétrico XZ.

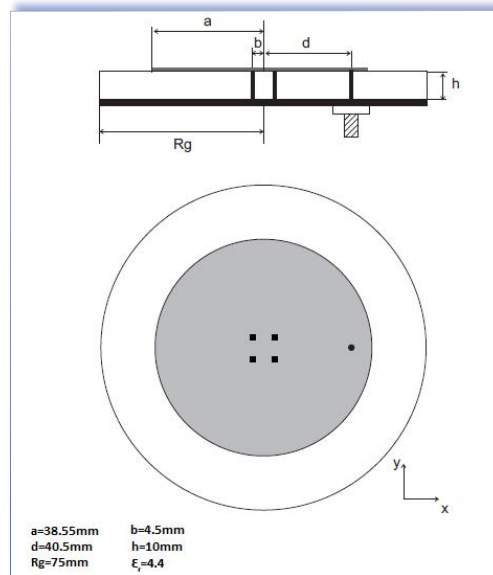


FIGURA II.20: MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE CORTOCIRCUITADA CON CUATRO PINES. MODO CERO

En la Figura II.21 se muestra también el diseño en 3D de la antena citada, así como sus diagramas de radiación en 3D y para los planos ZY y XY.

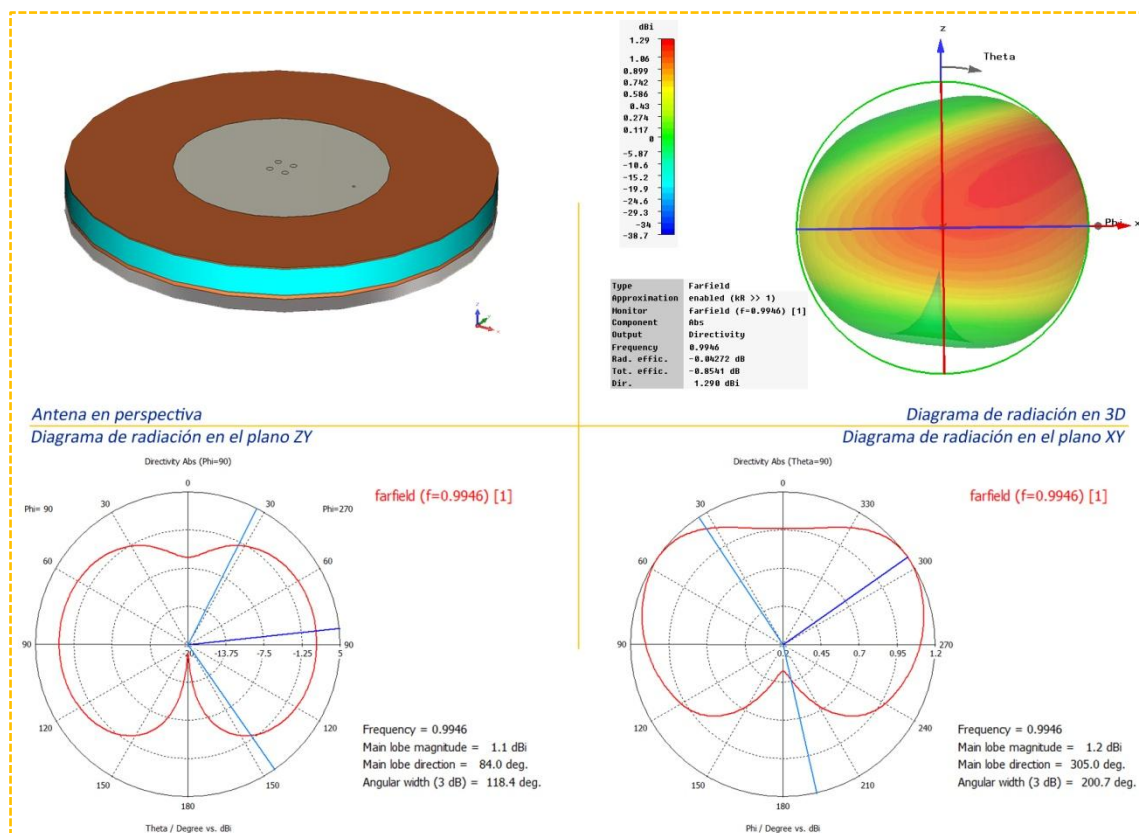


FIGURA II.21: ANTENA DE PARCHE CON CORTOCIRCUITO CENTRAL MEDIANTE CUATRO PINES. MODO CERO

II.2.3. COMPARATIVA ENTRE AMBOS DISEÑOS

En el caso del cortocircuito central mediante un único poste conductor y tras varios intentos de optimizar el diseño, se observó que resulta muy difícil variar parámetros que centren la banda en el eje de frecuencias deseado (1GHz en el caso que nos ocupaba). Por este motivo, se sustituyó el poste central por los cuatro pines y, simplemente modificando el ancho del parche, el radio de los pines y la distancia entre ellos, se pudo llegar a centrar la gráfica fácilmente. Con estos pequeños ajustes básicos se consiguió disminuir el S11 a valores cercanos a -8dB. (Ver Figura II.22 y Figura II.23).

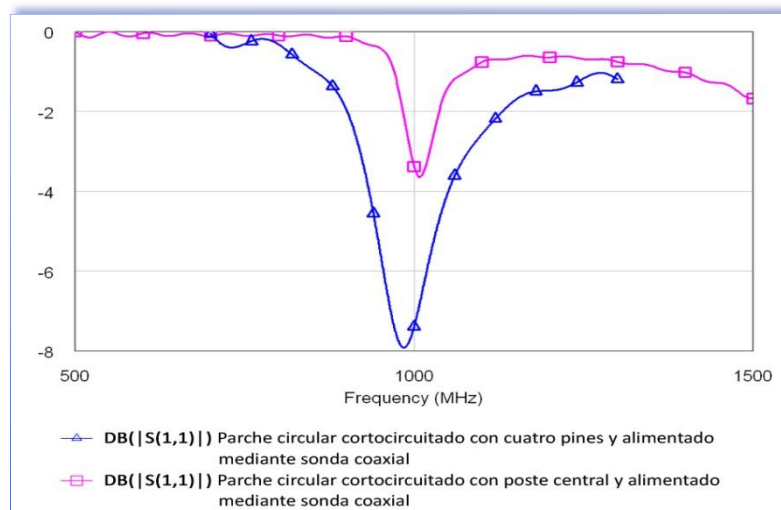


FIGURA II.22: S11 CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL PARA LOS CASOS CORTOCIRCUITADOS MEDIANTE POSTE CENTRAL Y CUATRO PINES

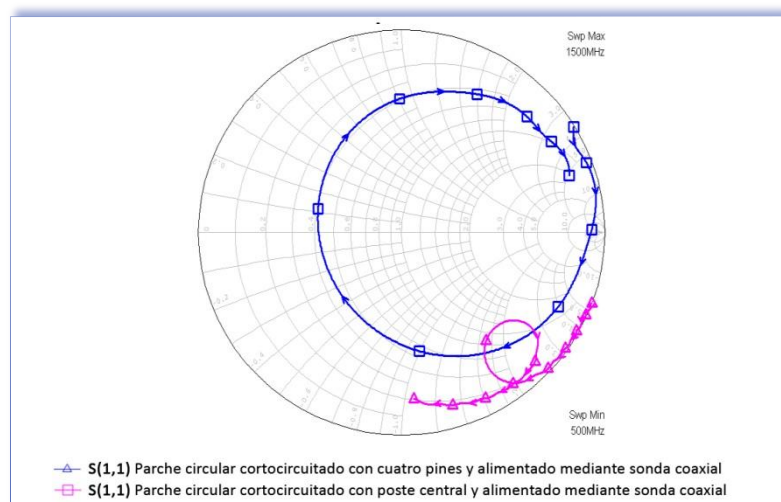


FIGURA II.23: CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL PARA LOS CASOS CORTOCIRCUITADOS MEDIANTE POSTE CENTRAL Y CUATRO PINES

Pese a que el diseño cortocircuitado mediante cuatro pines mejora relativamente tanto la adaptación como el ancho de banda con respecto al modelo cortocircuitado mediante poste,

sigue sin poder hablarse de buena adaptación puesto que, en ninguno de los casos simulados, la gráfica consiguió bajar de -8dB.

Tales resultados determinaron en ese momento la línea definitiva de investigación del presente proyecto, que, a la vista de los mismos, se enfocó entonces a buscar la mejora de la antena en lo que a adaptación y ancho de banda se refiere, mediante la utilización de una red externa de adaptación incluida dentro de la propia antena.

III. PARCHE CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTOS CONCENTRADOS

Dado que tanto el diseño de parche alimentado por sonda coaxial modificada optimizado para el modo broadside (ver apartado II.1.2) como el del parche cortocircuitado optimizado para el modo cero (ver apartado II.2.1) presentaron niveles de adaptación suficientemente razonables en sus respectivos modos, se decidió ampliar la línea de investigación.

Se trataba de comprobar si es posible mejorar la adaptación de las antenas incluyendo elementos concentrados; condensador o bobina. Tales elementos se colocarían conectados en paralelo entre la sonda y la base GND circular. Se hacía necesario por tanto utilizar dieléctrico aire para incluir el elemento en el montaje real. La idea era conseguir un modelo con adaptación mejorada, dado que, finalmente, de lo que se trataba era de añadir una red externa para mejorar la propia adaptación del parche aislado.

A modo de ejemplo, en la Figura III.1 y la Figura III.2 se puede observar cómo quedaría conectado el elemento concentrado para el modelo cortocircuitado mediante poste central y alimentado por sonda coaxial modificada.

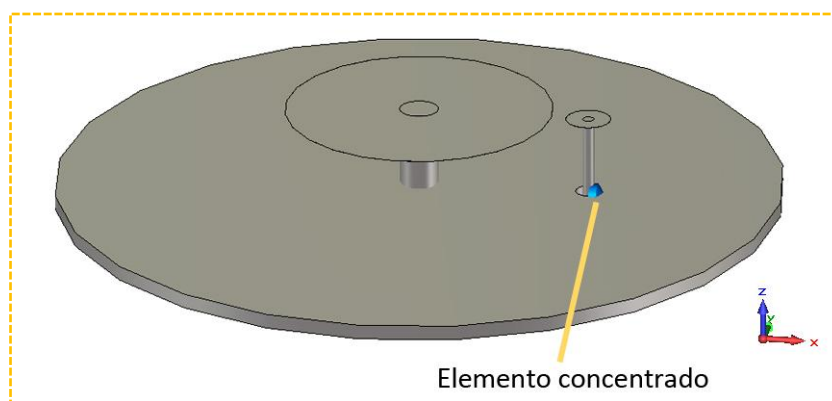


FIGURA III.1: ANTENA CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTO CONCENTRADO

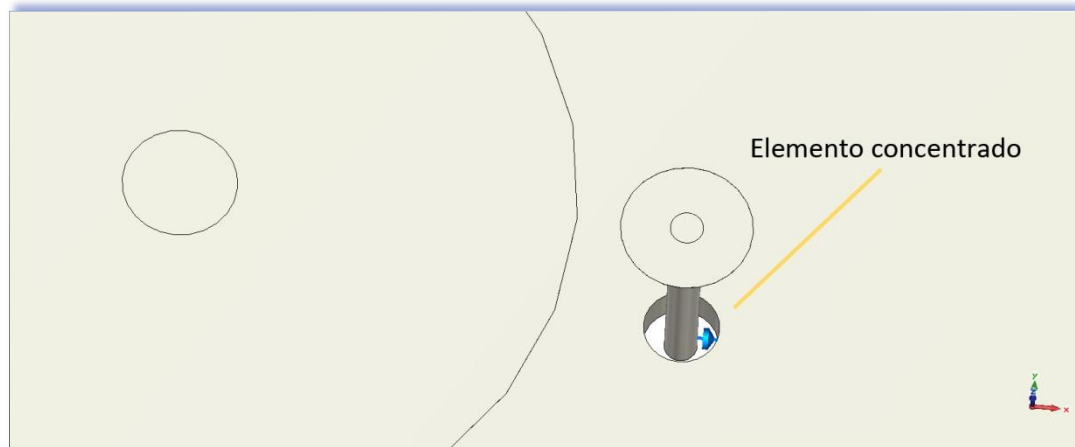


FIGURA III.2: ANTENA CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTO CONCENTRADO (AMPLIADA)

III.1. MODO TM₁₀ (BROADSIDE)

Partiendo de la antena alimentada por sonda coaxial modificada analizada en el apartado II.1.2, se procedió a conectar una bobina y un condensador en paralelo a la sonda para observar cómo respondían las simulaciones. Los resultados están reflejados en la Figura III.3.

Para el caso del condensador paralelo se utilizó un valor $C=6.36\text{pF}$ y para el caso de la bobina, un valor $L=3.97\text{nH}$. Estos valores se obtuvieron tras hacer numerosas simulaciones en las que además se comprobó que a medida que se aumenta el valor de C o se disminuye el valor de L , la representación en la Carta de Smith se acerca al cortocircuito. La frecuencia de trabajo se situó en 2Ghz.

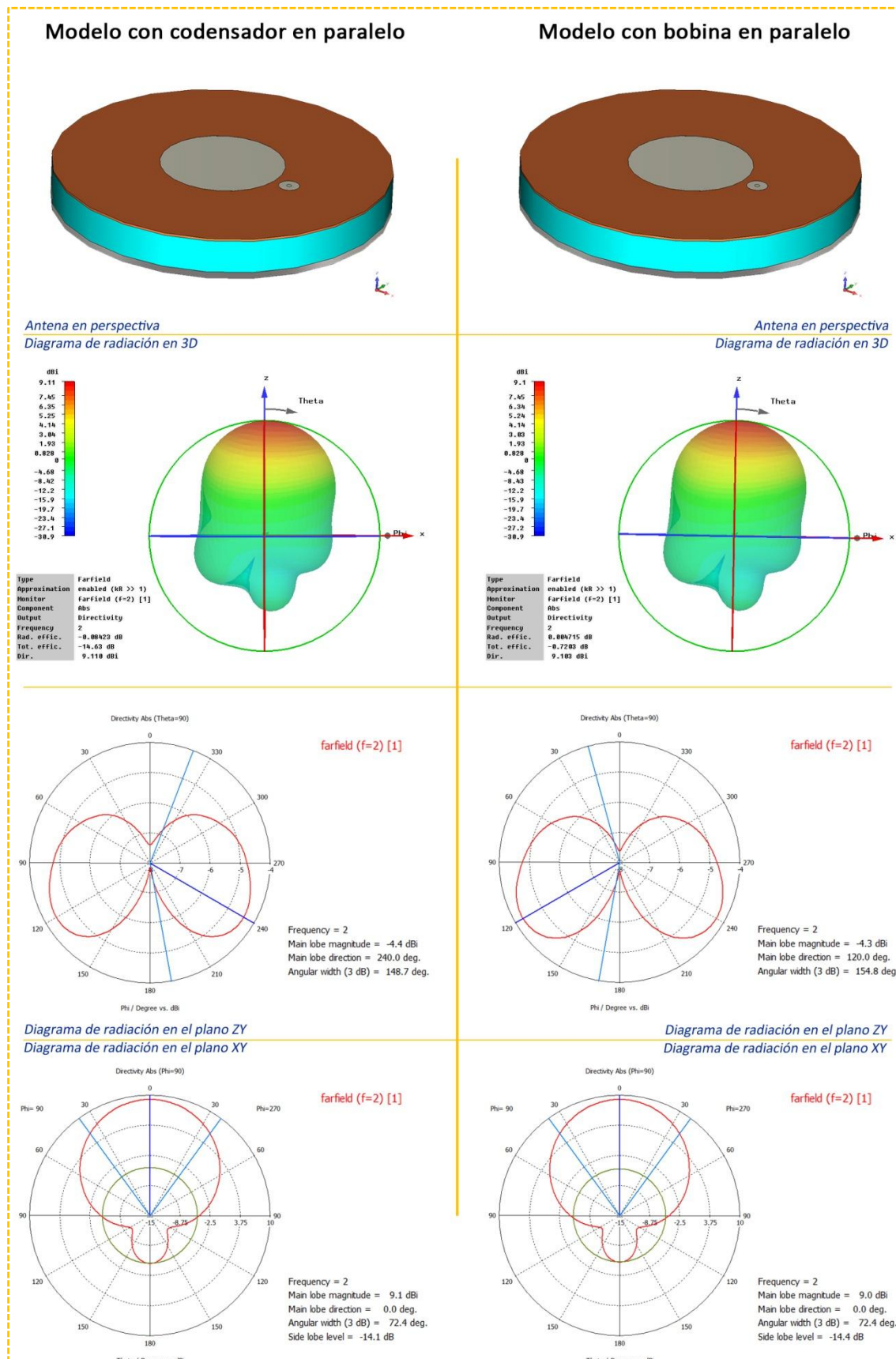


FIGURA III.3: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON CONDENSADOR EN PARALELO Y BOBINA EN PARALELO. MODO BROADSIDE

III.2. MODO TM₀₁ (OMNIAZIMUTAL)

Para desarrollar esta fase del estudio, se partió del modelo cortocircuitado analizado en el apartado II.2.1. Además, puesto que había quedado demostrado en el apartado II.1.3 que el modo de alimentación mediante sonda coaxial modificada presenta ventajas para el diseño broadside frente al modelo con sonda coaxial simple, se optó por trabajar también en este caso con ese método de alimentación. De esta forma se añadían dos mejoras al diseño cortocircuitado: por una parte, una red de adaptación mediante elementos concentrados, y por otra, una alimentación mediante sonda coaxial modificada.

Los resultados de las pruebas hechas al simular este diseño alimentado mediante sonda coaxial modificada y adaptado con un condensador o bobina en paralelo se muestran en la Figura III.4.

Para el caso de la bobina se utilizó un valor $L=7,95\text{nH}$ y para el caso del condensador un valor $C=0,636\text{pF}$.

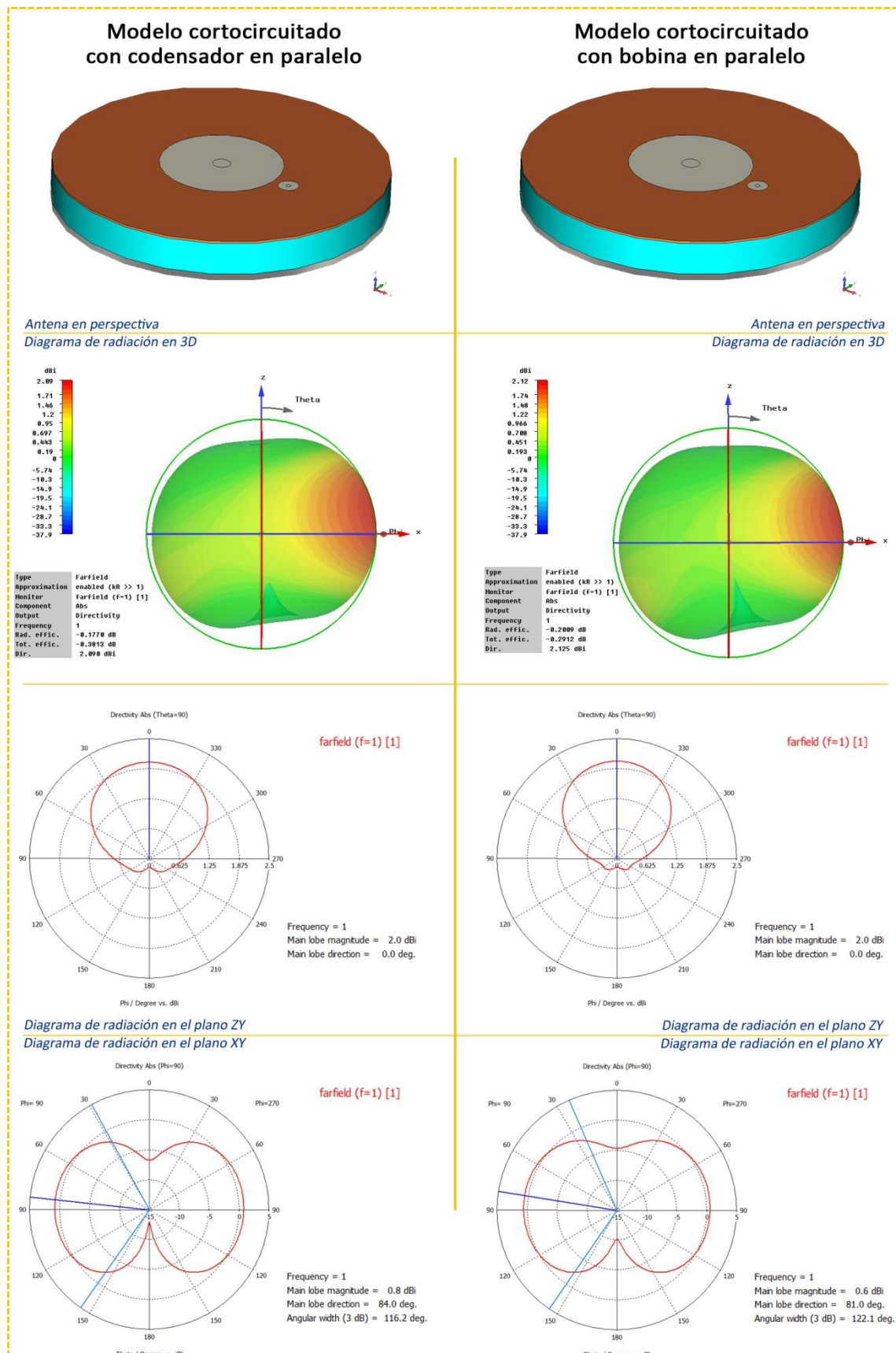


FIGURA III.4: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON CONDENSADOR EN PARALELO Y BOBINA EN PARALELO. MODO CERO

En la Figura III.5 y la Figura III.6 se muestran el S11 y la Carta de Smith respectivamente para estos dos casos. Se observa una ligera mejoría en el caso de la bobina puesto que el S11 alcanza los 23,1dB a 1Ghz frente a los -14,4dB del caso del Condensador. Además, el ancho de banda en adaptación es también ligeramente mejor en el caso de la bobina en comparación con el caso del condensador. En la Figura III.6 también se ve un lazo mucho más grande y centrado en el caso de la bobina.

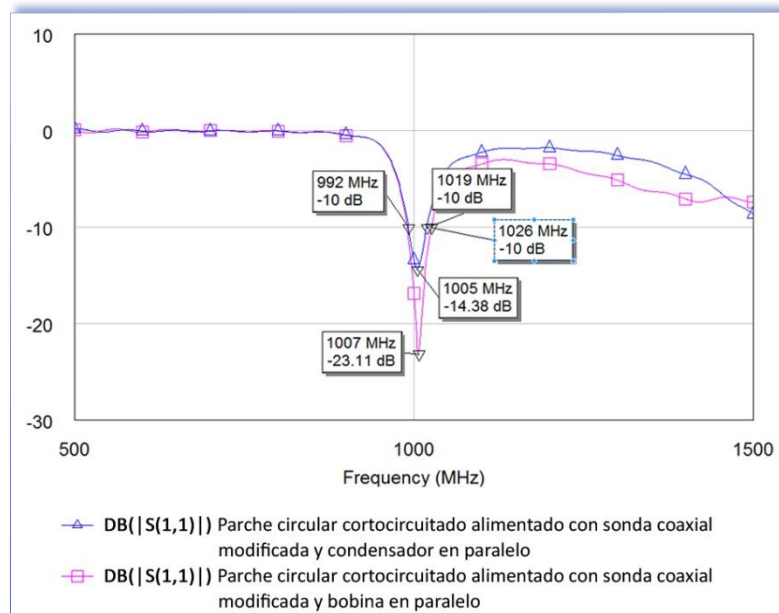


FIGURA III.5: S11 CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON CONDENSADOR Y BOBINA EN PARALELO

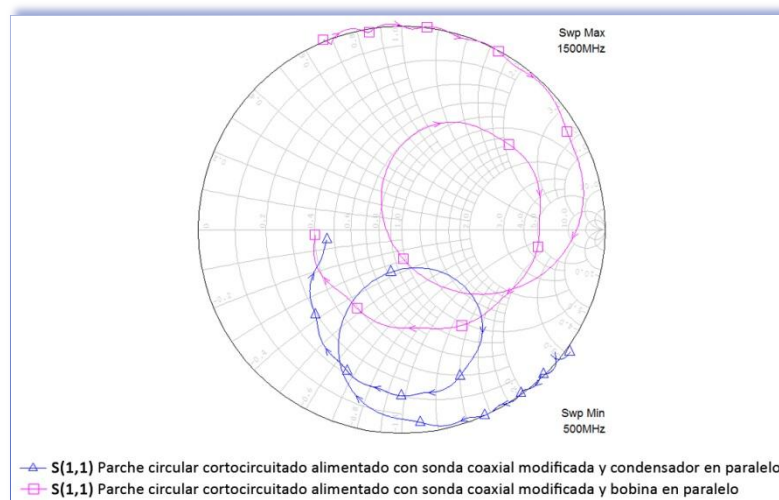


FIGURA III.6: CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON CONDENSADOR Y BOBINA EN PARALELO

IV. DISEÑO FINAL: PARCHE CONVENCIONAL EN MODO CERO, 4 PINES Y ELEMENTO DISTRIBUIDO EN PARALELO

Debido a que la implementación de un elemento concentrado en este tipo de antenas resulta complicada, en este estadio del proyecto se valoró la posibilidad de sustituir tal elemento por un *stub* conectado en corto o en abierto impreso sobre el sustrato inferior de la antena, que también hace de plano de masa gracias a la metalización de su base. Para sintetizar la reactancia jx , equivalente a la bobina o el condensador, se hizo uso del programa *MW Office* (ver Figura IV.1) y con él se obtuvieron los tamaños de los *stubs* que, posteriormente, se optimizaron mediante simulaciones hechas con el programa *CST Microwave Studio 2010*.

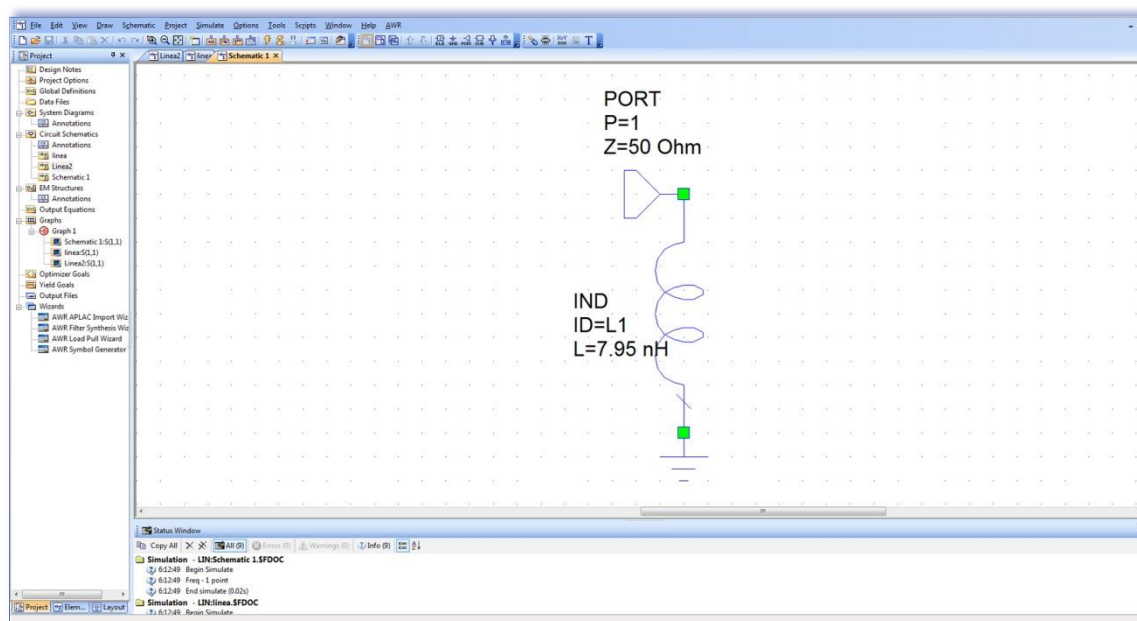


FIGURA IV.1: EJEMPLO DEL ENTORNO DE TRABAJO DEL MICROWAVE OFFICE

Puesto que en los diseños cortocircuitados realizados con bobina y con condensador, el caso mejor adaptado resultó ser el de la bobina en paralelo (ver apartado III.2), se decidió proseguir con la sustitución de la bobina por un *stub* en abierto o en corto.

Cuando se calculó la longitud del *stub* para el caso en abierto (63,5mm) se observó que era necesario girar el *stub* en el plano de la antena, porque la longitud obtenida hacía que el *stub* se superpusiera al cilindro cortocircuitado del parche central en caso de construirse recto para

mantener la simetría. Este cambio de orientación modifica la simetría física de la antena pero no afecta en absoluto a sus prestaciones. El resultado quedó como muestra la Figura IV.2:

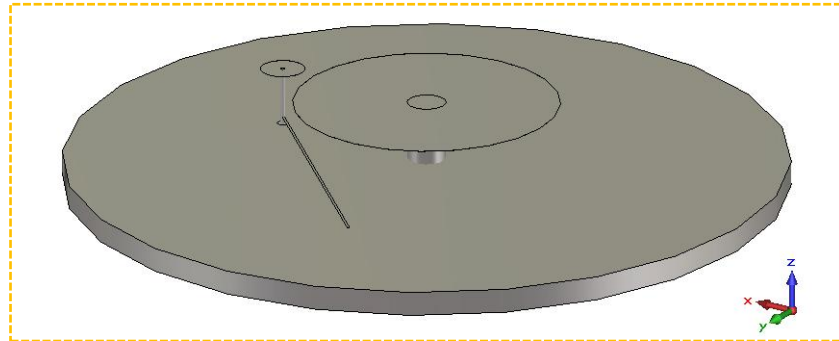


FIGURA IV.2: IMPLANTACIÓN DE *STUB* EN ABIERTO EN ANTENA DE PARCHE CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

Tras realizar varias simulaciones se obtuvo un S_{11} mínimo de aproximadamente -12dB a la frecuencia de trabajo, como queda reflejado en la Figura IV.3.

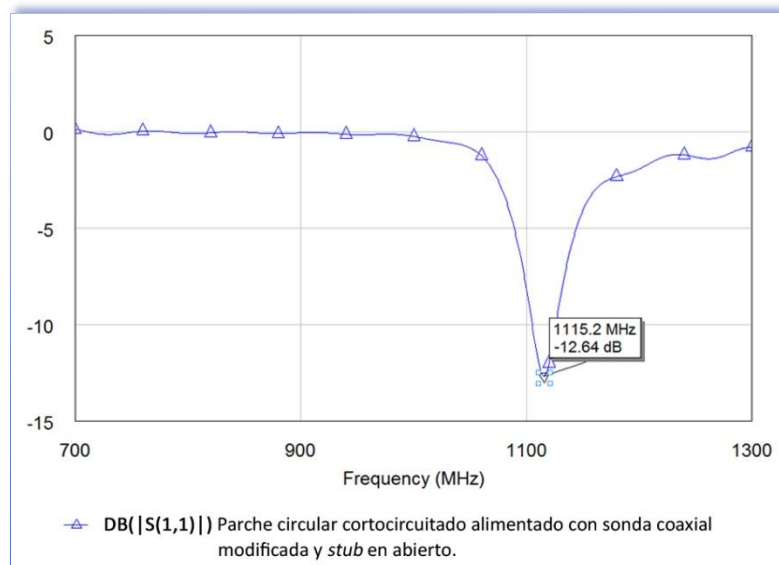


FIGURA IV.3: S_{11} DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y *STUB* EN ABIERTO

En la Carta de Smith que aparece en la Figura IV.4 se aprecia cómo el centro del lazo se aleja relativamente del centro de la carta.

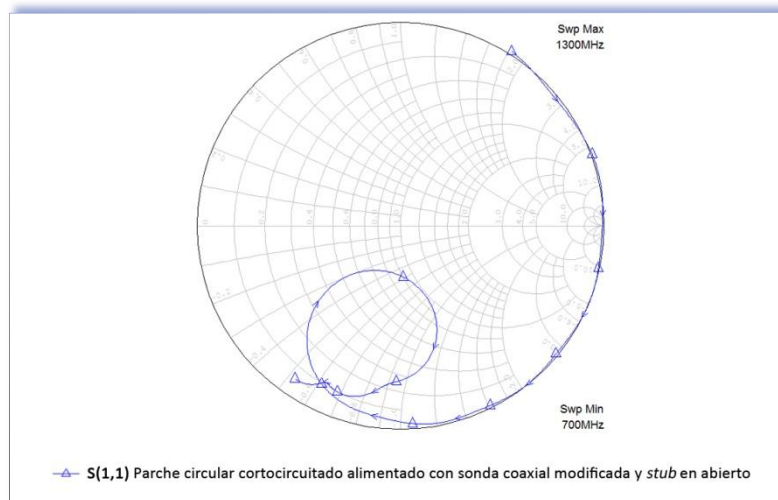


FIGURA IV.4: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y STUB EN ABIERTO

En cuanto a la sustitución de la bobina por un *stub* en corto, se optó por diseñar la misma antena y utilizar esta vez un *stub* diseñado en cortocircuito, con una longitud obtenida de 18,2mm. Los sustratos utilizados presentaban una permitividad de 4,5 y tenían un espesor de 0,5mm. el superior y 1,5mm. el inferior. Véase la Figura V.5.

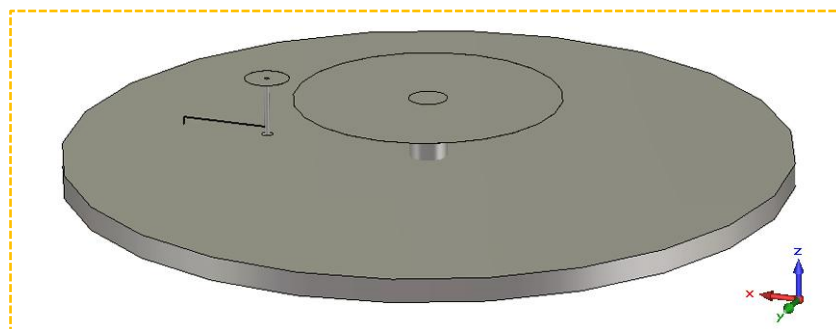


FIGURA IV.5: IMPLANTACIÓN DE STUB EN CORTO EN ANTENA DE PARCHE CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA

En este caso, en las simulaciones se obtuvo un S11 mínimo de aproximadamente -19dB a la frecuencia de trabajo. Por tanto, el caso era mejor que el del *stub* en abierto en cuanto a S11. Ver Figura IV.6:

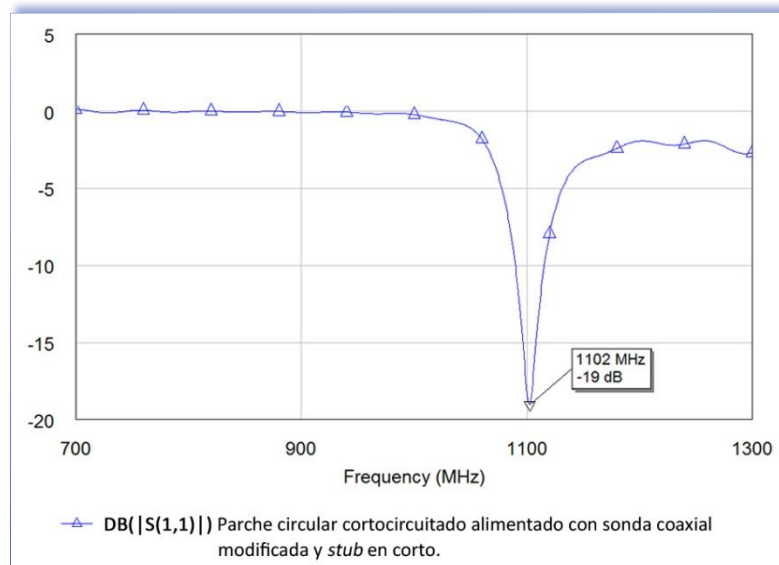


FIGURA IV.6: S11 DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y *STUB* EN CORTO

La Carta de Smith obtenida también mejoraba los resultados con respecto al caso del *stub* en abierto, como puede apreciarse en la Figura IV.7.

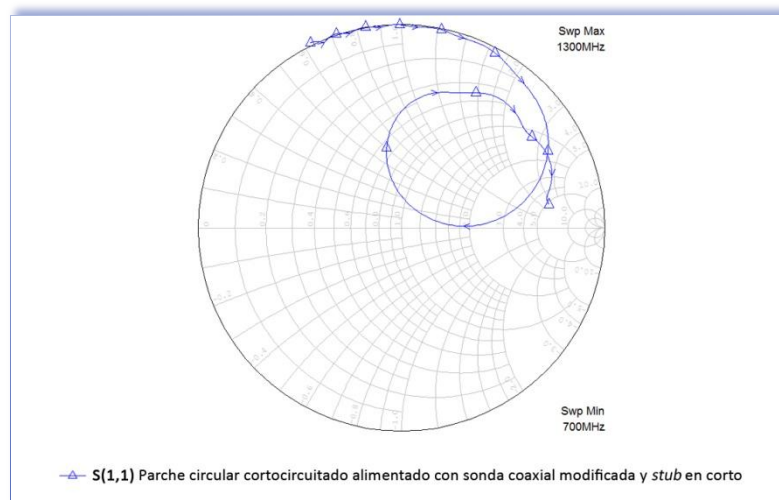


FIGURA IV.7: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y *STUB* EN CORTO

La Figura IV.8 y la Figura IV.9 ofrecen una comparación de las diferencias entre el diseño para el caso con *stub* en abierto y el diseño para el caso en corto, en lo que al S11 y la Carta de Smith se refiere.

Aunque ambos diseños presentan buenos valores de adaptación, queda demostrado que la mejor adaptación se obtiene con el *stub* en corto.

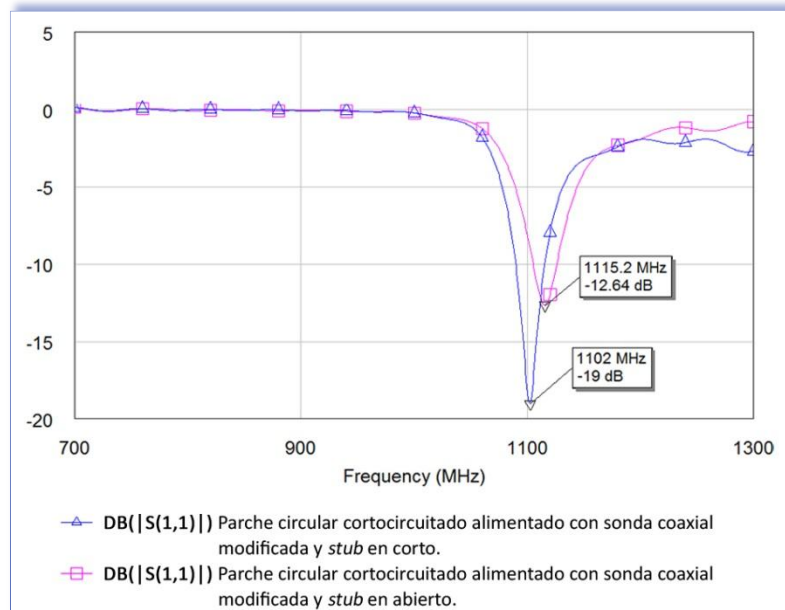


FIGURA IV.8: S11 CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON *STUB* EN CORTO Y EN ABIERTO

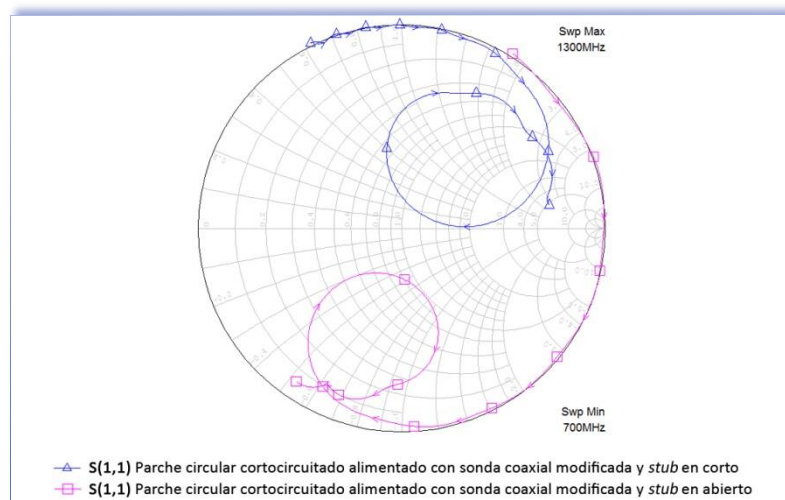


FIGURA IV.9: CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON *STUB* EN CORTO Y EN ABIERTO

La Figura IV.10 es la comparativa entre ambas antenas correspondiente a este apartado.

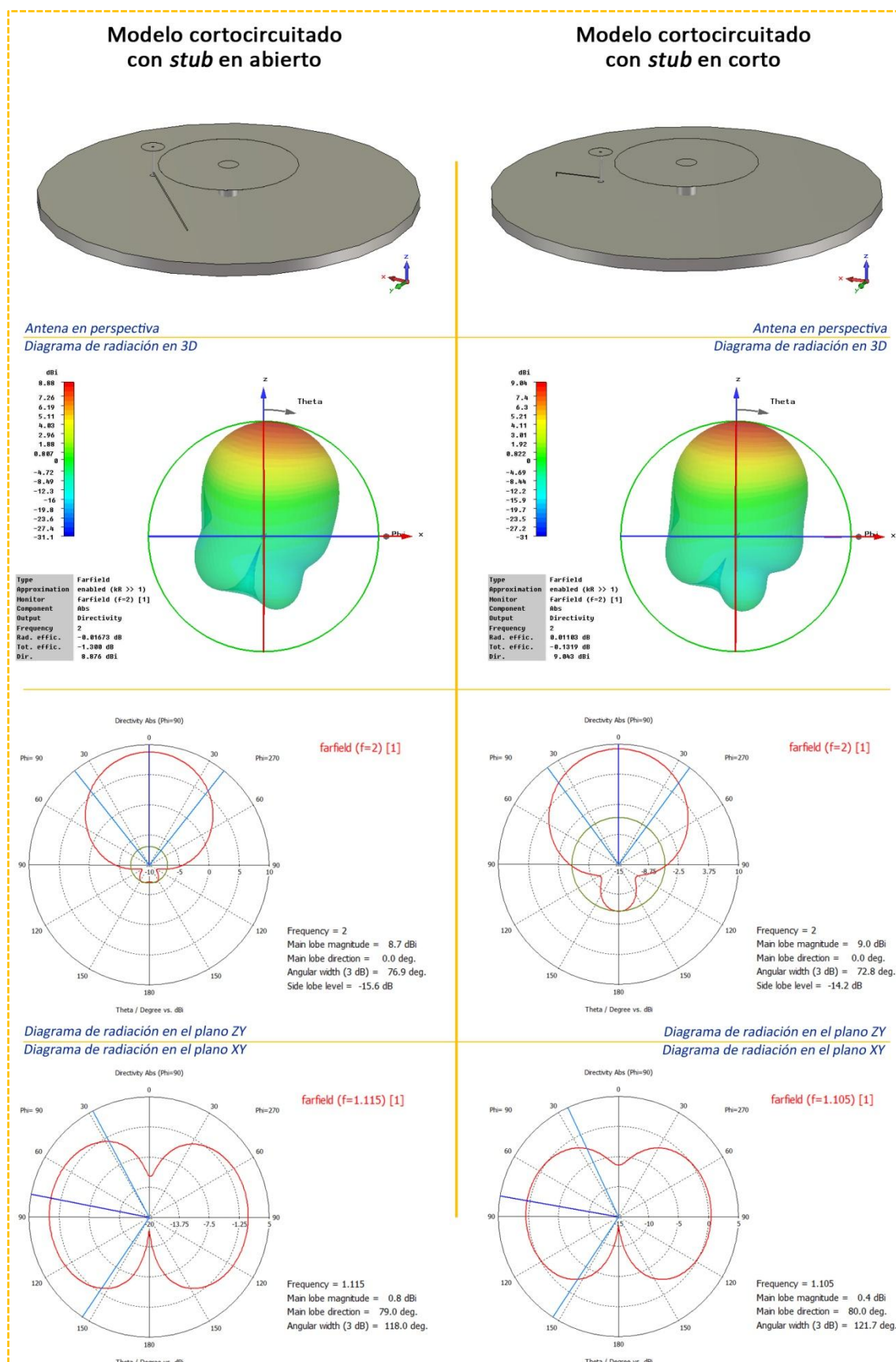


FIGURA IV.10: ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON *STUB* EN ABIERTO Y EN CORTO. MODO CERO

V. OPTIMIZACIÓN DEL PARCHE DISEÑADO EN IV

Lógicamente, tras concluir que el caso con el *stub* en corto es, con respecto al caso con el *stub* en abierto, la mejor solución, a partir de ese momento los esfuerzos se dirigieron a tratar de optimizar su diseño.

Se anuló la alimentación mediante sonda coaxial modificada y por tanto se eliminó el parche pequeño, dado que, como ya quedó demostrado anteriormente (ver el apartado II.1.2), el caso de alimentación con sonda coaxial modificada presenta ventajas para el caso del Modo TM₁₀ (broadside) analizado en de este trabajo, pero no para los modelos cortocircuitados (modo cero) como se ha podido comprobar. Es decir, al retirar la sonda coaxial modificada del diseño cortocircuitado se confirmó que su ausencia no implicaba detrimento de las prestaciones de la antena y, por tanto, no tenía sentido complicar el diseño de forma innecesaria.

Por otro lado, se sustituyó el poste central cortocircuitado por cuatro pequeños pines equivalentes, a la vista de que, como previamente se había demostrado (ver apartado II.2.2), esta opción mejora la adaptación de la antena y facilitaba el ajuste de parámetros.

La banda se centró en 1Ghz ajustando el radio del parche para conseguir esa frecuencia de trabajo.

Además se añadió a la antena un segundo sustrato de FR4 en la base de la antena, esta vez con espesor 1,5mm para darle rigidez al conjunto y para poder imprimir sobre él el *stub* mencionado. Todo ello atendiendo a los tipos y tamaños de componentes y materiales que pueden encontrarse en un laboratorio de fabricación de antenas, siempre pensando en la futura construcción de la antena.

En la Figura V.1 se puede observar cómo queda la antena en perspectiva. Se da una visión clara del eje Z positivo, de forma que se aprecia perfectamente que el parche circular es atravesado por cuatro pines y una sonda en el lateral. El parche se encuentra sobre un sustrato que se apoya en un dieléctrico, el cual se apoya a su vez sobre otro sustrato y todo el modelo descansa sobre la base conductora, si bien en la antena construida, se ha eliminado dicha base y la metalización inferior del sustrato hace de plano de masa.

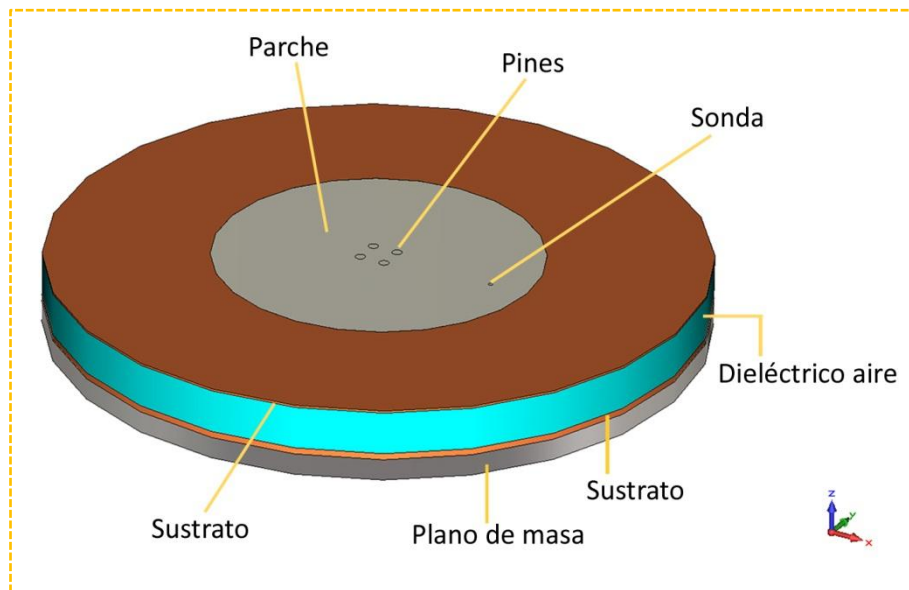


FIGURA V.1: VISIÓN GENERAL DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y STUB EN CORTO

En la Figura V.2 se han ocultado los sustratos y el dieléctrico para poder apreciar los cuatro pines atravesando toda la estructura, así como el stub cortocircuitado.

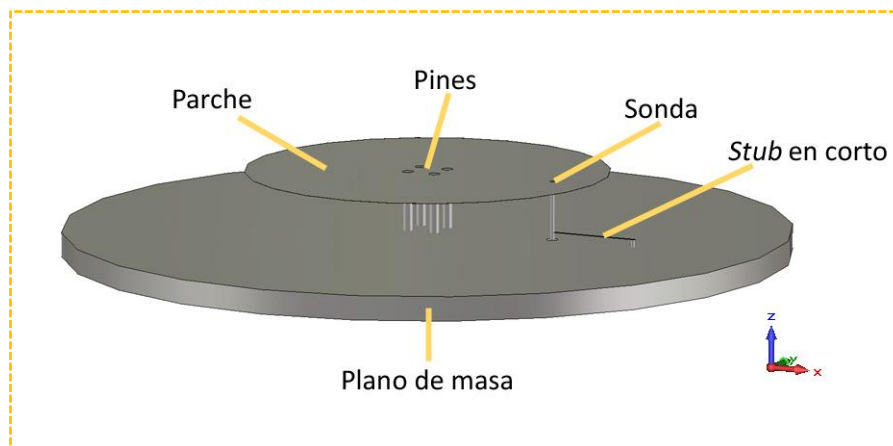


FIGURA V.2 : VISIÓN INTERIOR DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y STUB EN CORTO

En la Figura V.3, la antena se muestra vista desde el eje Z negativo, de forma que puede verse la base conductora de la antena con los cuatro pines conductores atravesando la estructura y también el puerto de la sonda coaxial y el corto del stub.

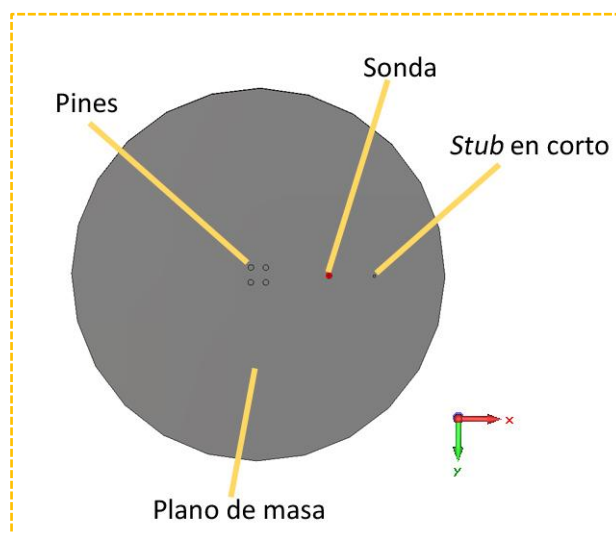


FIGURA V.3: BASE DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y *STUB* EN CORTO

Los parámetros finales con los que se ha trabajado en este último diseño se recogen en la siguiente tabla.

TABLA V-1: PARÁMETROS FINALES ELEGIDOS PARA OPTIMIZAR EL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO CON 4 PINES, *STUB* EN CORTO Y ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL SIMPLE

Valores	Descripción de las variables
5mm.	Altura de la metalización inferior
10mm.	Altura de la espuma
1,5mm.	Altura del sustrato de abajo
0,5mm.	Altura del sustrato de arriba
150mm.	Ancho de la base
51mm.	Ancho del parche grande
15mm.	Ancho del parche pequeño
0,5mm.	Ancho del <i>stub</i>
0,9mm.	Diámetro del puerto discreto
7,15mm.	Distancia entre parches
0,01mm.	Grosor de las metalizaciones
0,01mm.	Grosor de <i>stub</i>
150mm.	Largo de la base
51mm.	Largo del parche grande
10mm.	Largo del parche pequeño
18,2mm.	Longitud <i>stub</i>
1,15mm.	Radio del cilindro central
37,55mm.	Radio del parche grande
1,15mm.	Radio exterior de la sonda
0,5mm.	Radio interior de la sonda
4,6mm.	Radio pequeño
4,5	ϵ_r de los sustratos

V.1. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Una vez optimizado el parche utilizando los parámetros indicados en la Tabla V-1, se pasó a simular la antena final con el programa *CST Microwave Studio 2010*. En la Figura V.4 se observa la gráfica del S_{11} , con una frecuencia de trabajo de 1GHz, un ancho de banda a -10dB establecido en 37,64MHz y un S_{11} mínimo a 1GHz que ronda los -40dB (38,9dB).

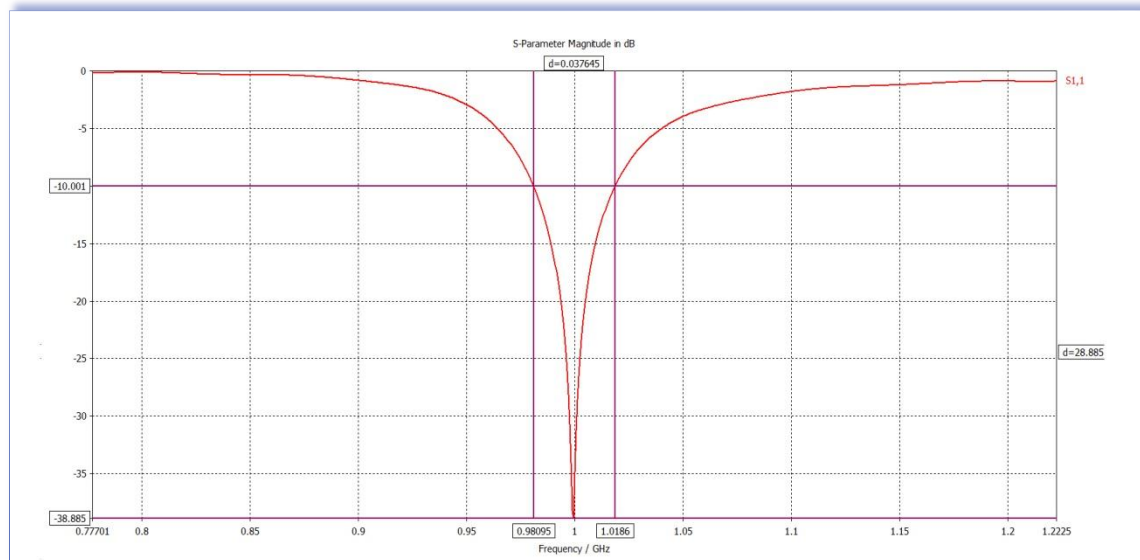


FIGURA V.4: S_{11} DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

La Figura V.5 muestra la Carta de Smith. Se aprecia un lazo amplio casi centrado y perfectamente adaptado.

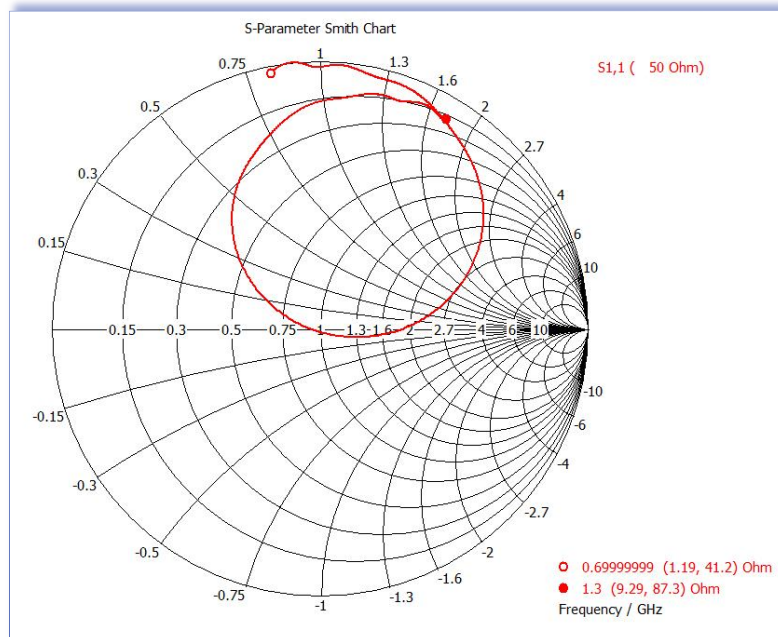


FIGURA V.5: CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

Además, y como se esperaba, dado que se ha estado trabajando con un parche cortocircuitado, el diagrama de radiación que puede observarse en la Figura V.6 tiene una forma prácticamente omniazimutal.

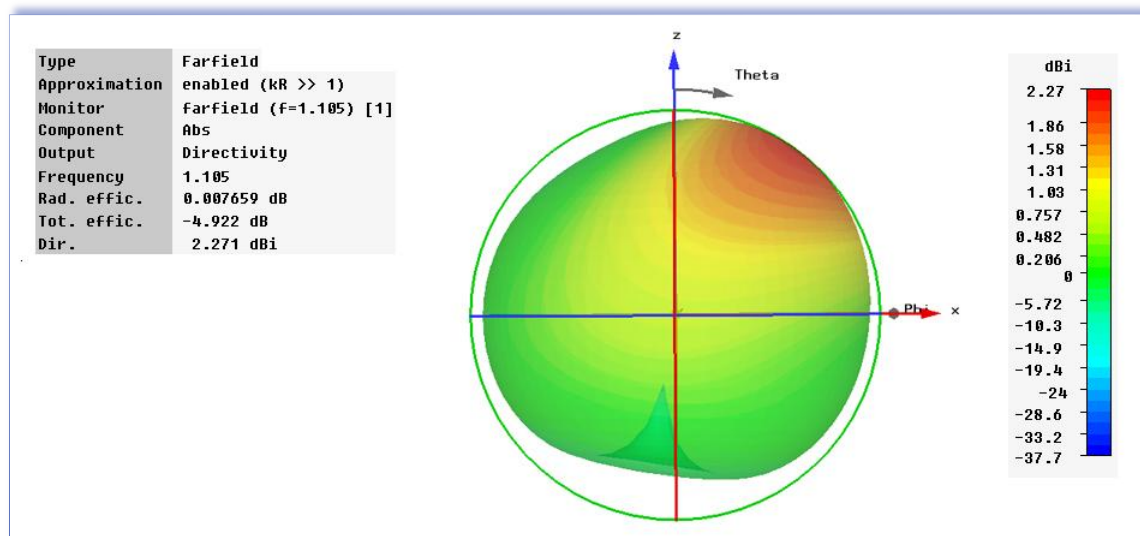


FIGURA V.6: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

Al observar el diagrama de radiación en el plano ZY (Figura V.7) y en el plano XY (Figura V.8) en la frecuencia de trabajo, se aprecia también la forma omniazimutal.

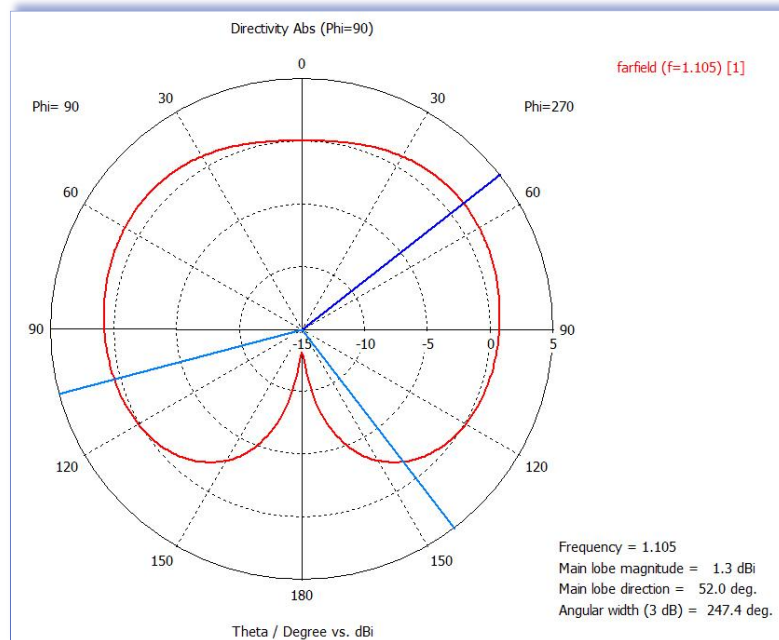


FIGURA V.7: DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN EL PLANO ZY DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y STUB EN CORTO (CAMPO ELÉCTRICO ABSOLUTO)

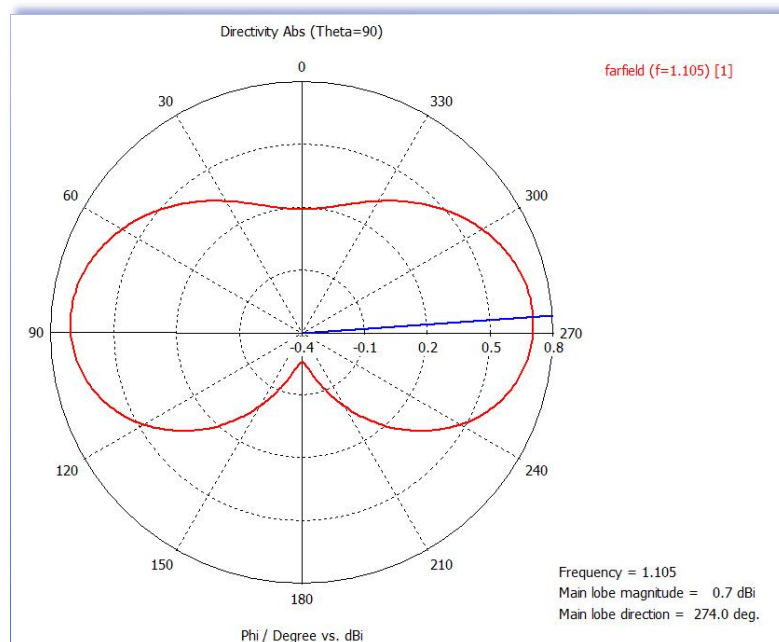


FIGURA V.8: DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN EL PLANO XY DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y STUB EN CORTO (CAMPO ELÉCTRICO ABSOLUTO)

En conclusión, se ha construido una antena de parche con un diagrama de radiación que se asemeja a un dipolo y con características similares pero con un tamaño mucho menor.

Para facilitar una visión más avanzada, en la Figura V.9 y la Figura V.11 se han representado las componentes Theta y Phi respectivamente para los planos XY, XZ e YZ del modelo bajo estudio. La Figura V.10 y la Figura V.12 representan las mismas componentes en 3D.

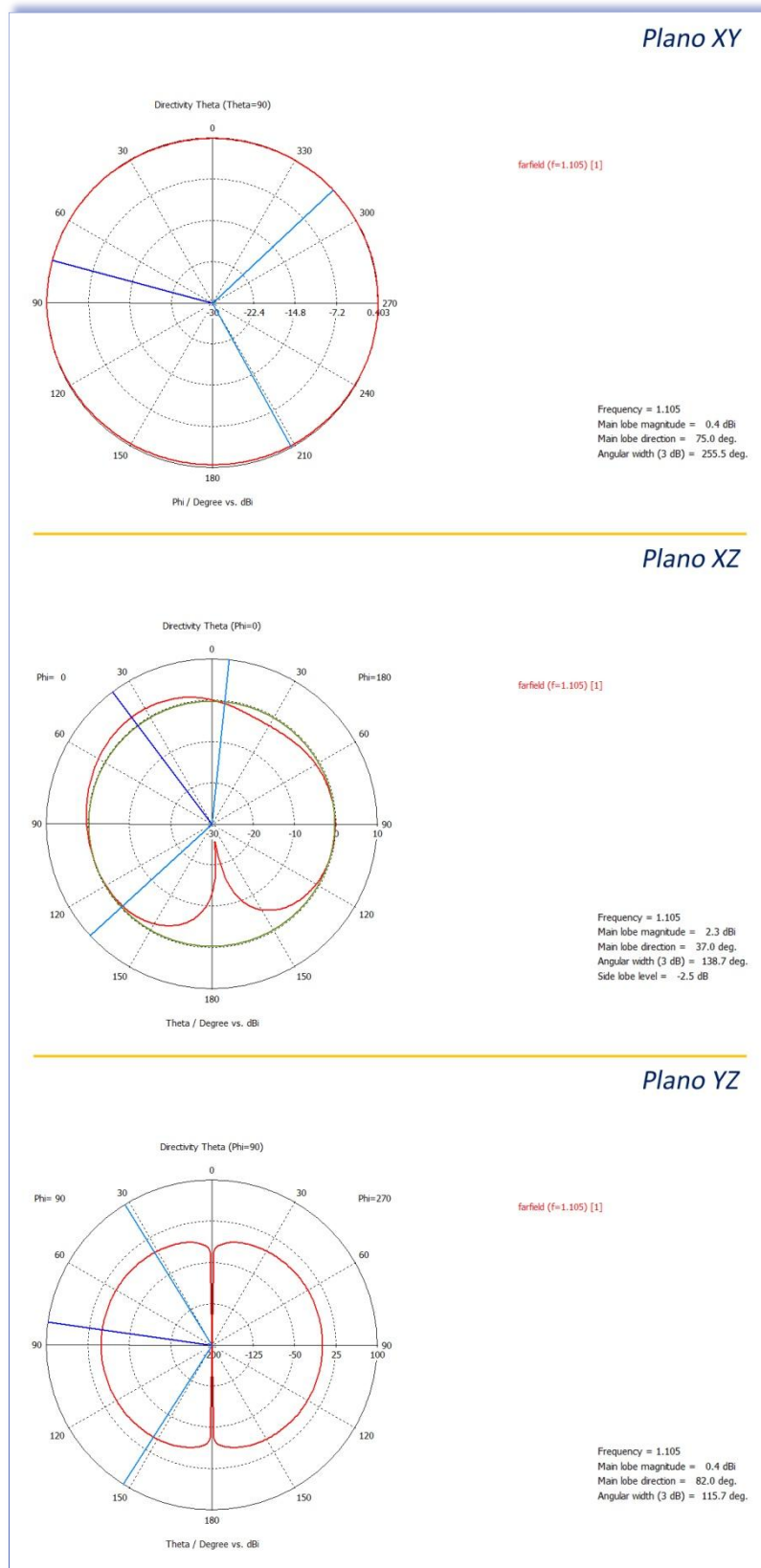


FIGURA V.9: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE THETA PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ

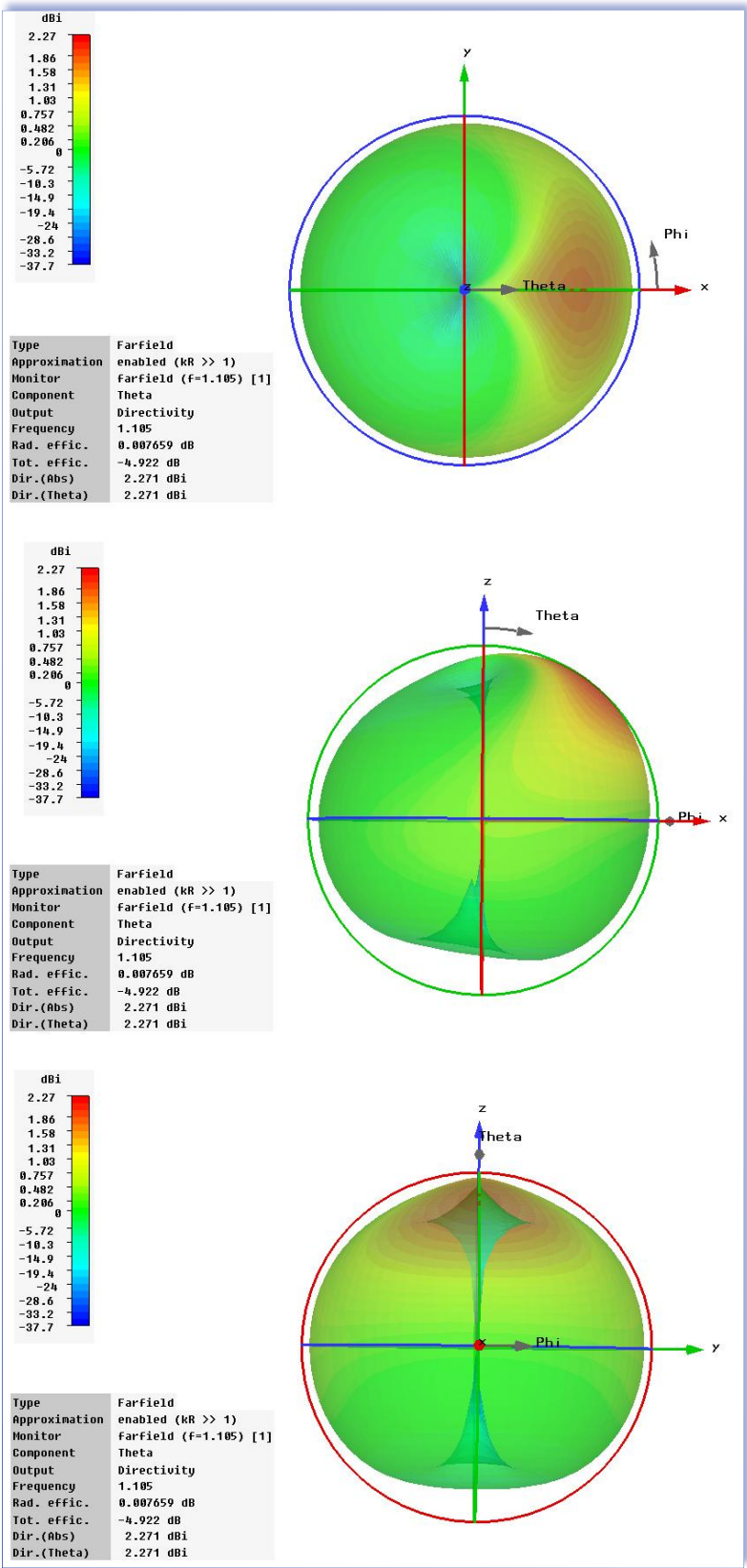


FIGURA V.10: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE THETA EN 3D PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ

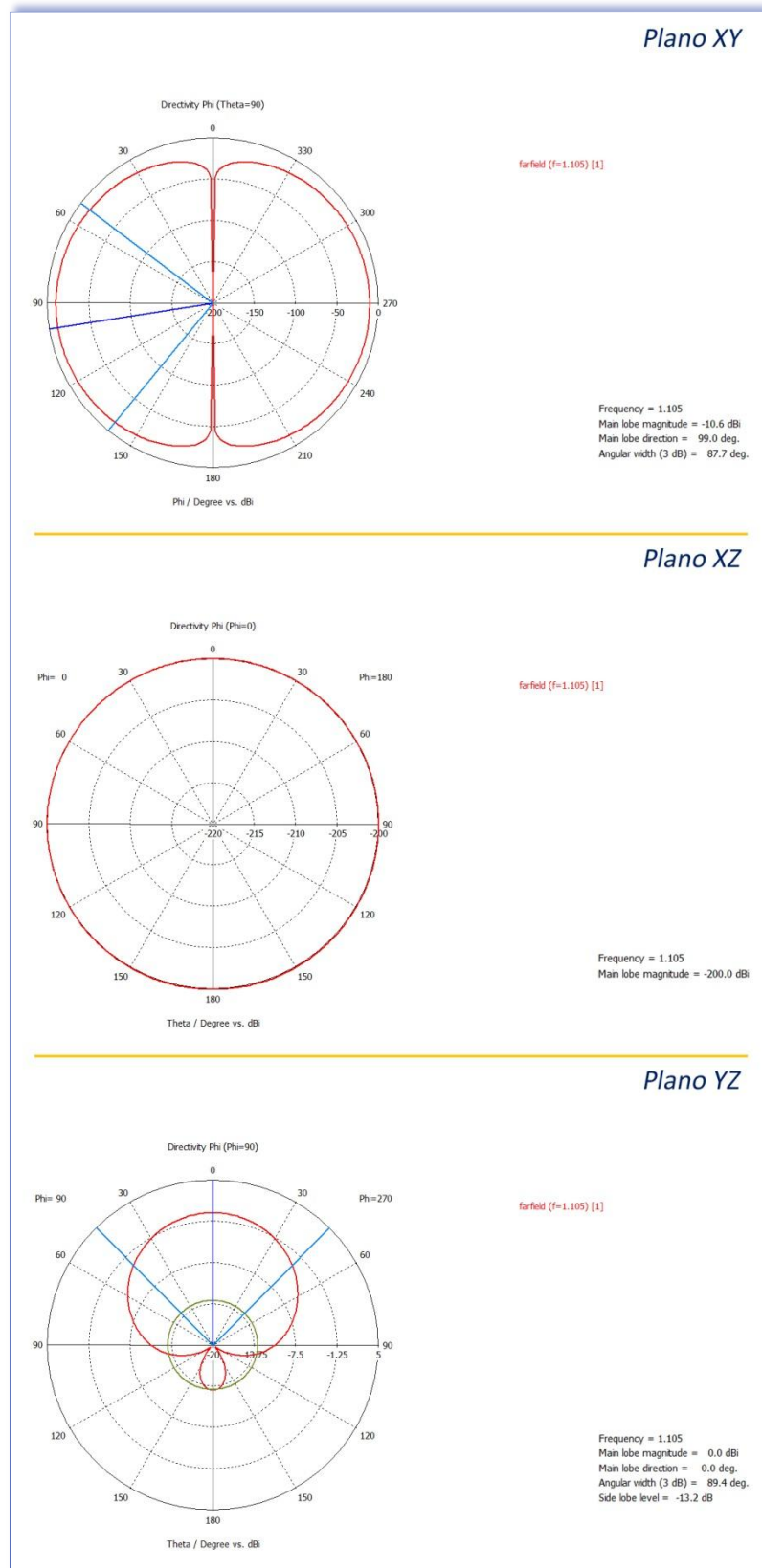


FIGURA V.11: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE PHI PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ

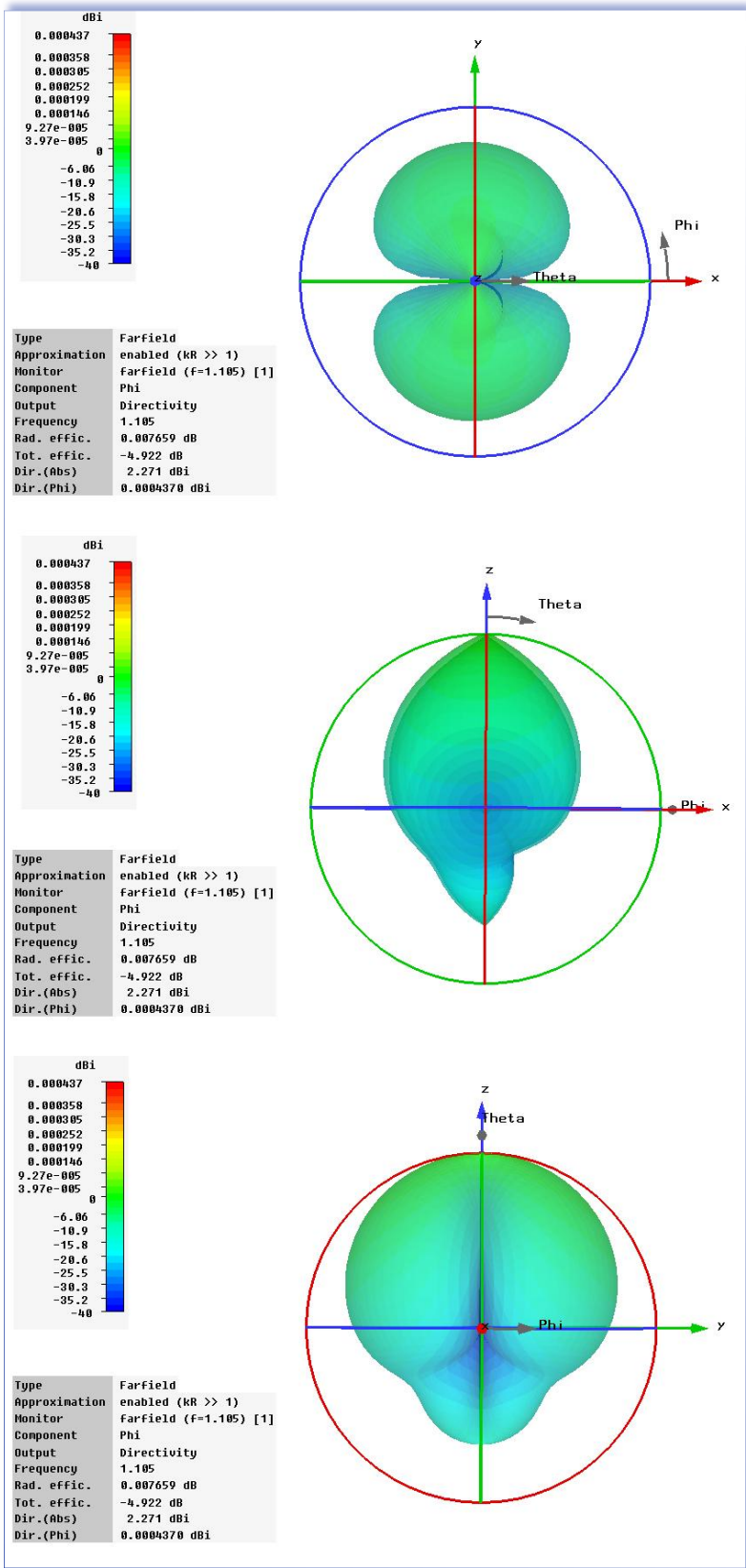


FIGURA V.12: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE PHI EN 3D PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ

V.2. MEDIDAS REALIZADAS

Una vez terminada la simulación de la antena estudiada en el apartado anterior, se construyó físicamente y se midieron sus prestaciones en un laboratorio de antenas. Los resultados han sido ciertamente satisfactorios. En la Figura V.13 se ve una imagen de la antena construida. En ella se pueden apreciar claramente la sonda coaxial y los 4 pines centrales estudiados.

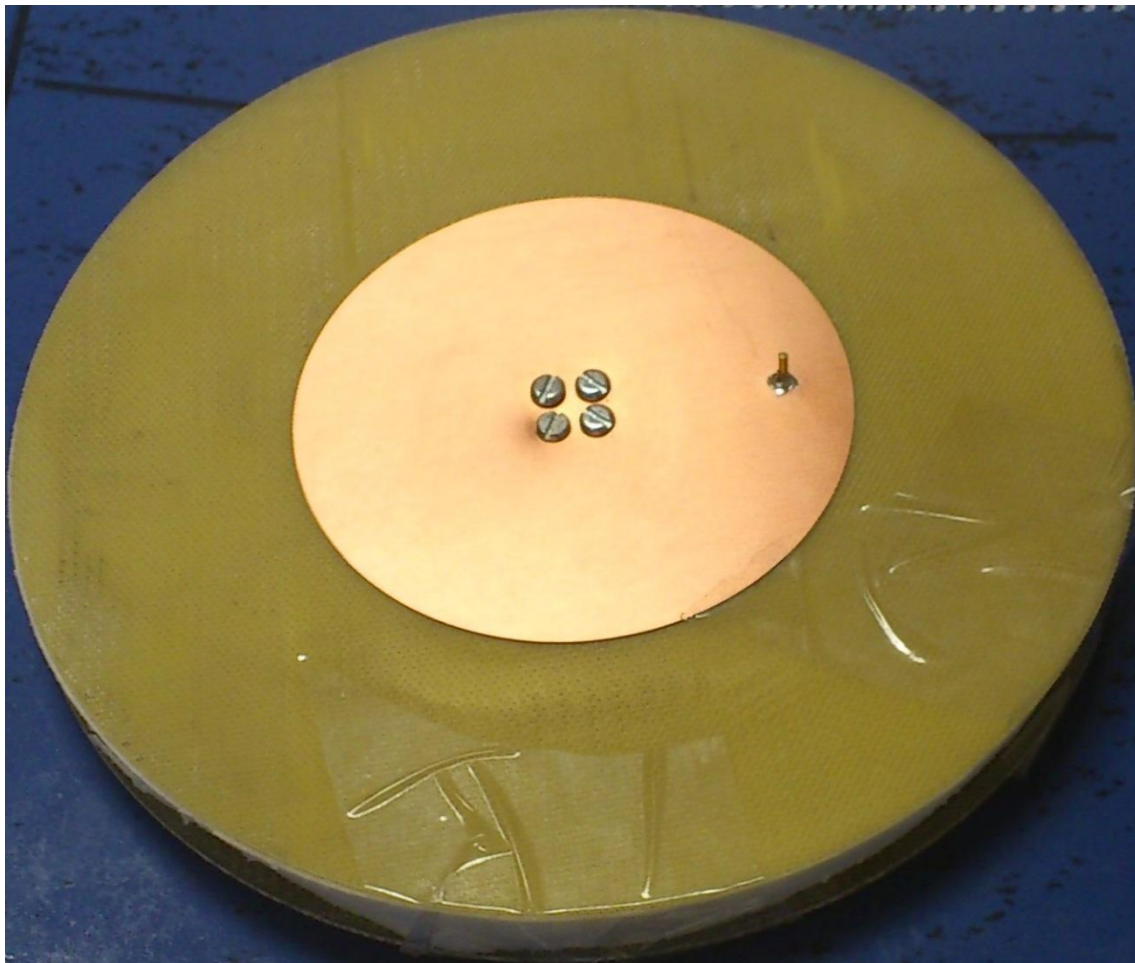


FIGURA V.13: CONSTRUCCIÓN DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

En la Figura V.14 y la Figura V.15 se pueden ver los resultados de las medidas obtenidas en el laboratorio en cuanto al coeficiente de reflexión S_{11} en módulo y Carta de Smith respectivamente.

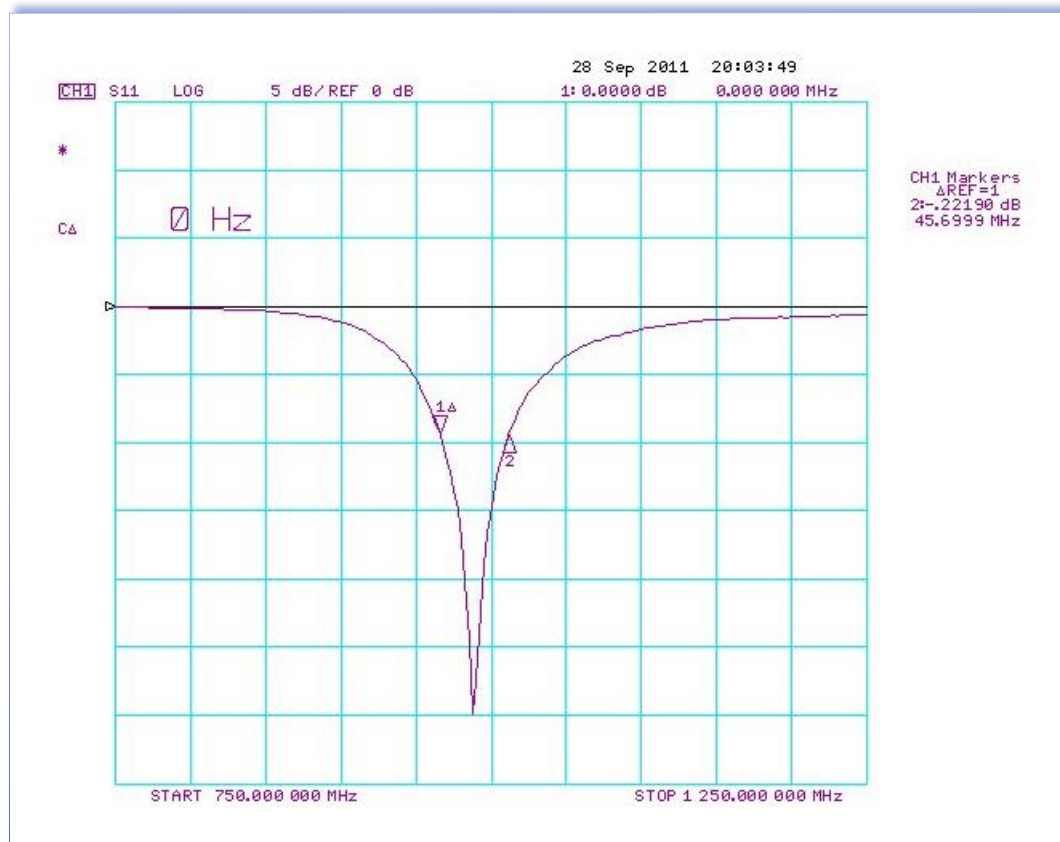


FIGURA V.14: RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DEL S11 DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

En la Figura V.14 se aprecia que la cuadrícula está escalada a 5dB por línea, llegando por tanto a rozar los -30dB. Se observa también que la antena dispone de un ancho de banda a -10dB de 45.69Mhz, aunque el mínimo se ha desplazado ligeramente del 1Ghz.

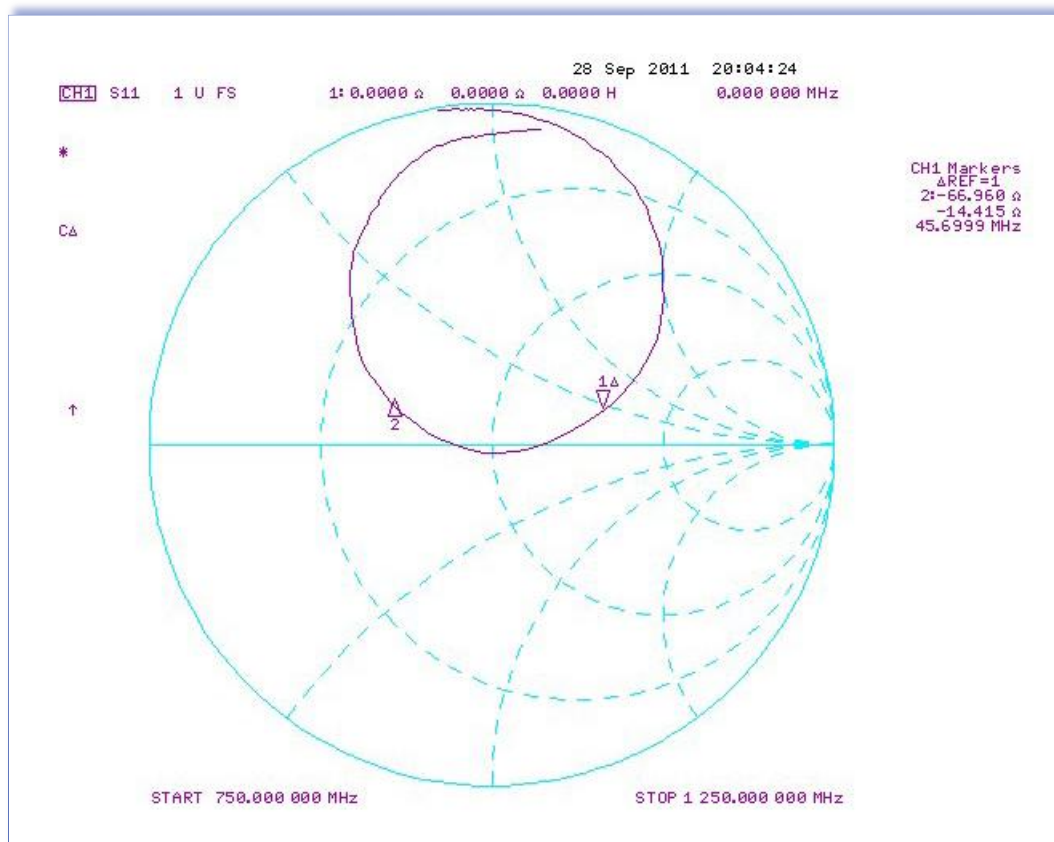


FIGURA V.15: RESULTADOS DE LAS MEDIDAS EN LA CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y *STUB* EN CORTO

En el caso de la Figura V.15 también se encuentran similitudes con los resultados de las simulaciones. Dichas figuras demuestran que los cálculos realizados en las simulaciones han sido correctos y por tanto que se ha construido con éxito la antena estudiada.

La Tabla V-2 muestra una comparativa entre los resultados obtenidos de la simulación y los resultados reales obtenidos de la misma antena construida.

TABLA V-2: TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS SIMULADOS Y LOS REALES

	Frecuencia central	S11 a frecuencia central	Ancho de banda a -10dB
Antena simulada	1Ghz	-38,9dB	3,87%
Antena construida	0,98Ghz	-30dB	4,59%

VI. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Entre los objetivos de este proyecto de fin de carrera estaba comprobar si alimentar las antenas de parche convencionales mediante sonda coaxial modificada frente a hacerlo mediante sonda coaxial simple mejoraba su ancho de banda, algo que efectivamente se ha podido constatar.

Los análisis llevados a cabo han puesto de manifiesto que el modo de alimentación mediante sonda coaxial modificada no ofrece ventajas para antenas de parche cortocircuitadas, aunque sí lo hace para antenas de parche convencionales que trabajen en modo TM₁₀ (modo broadside).

Por otra parte, en lo que adaptación y ancho de banda se refiere, se ha conseguido mejorar una antena de parche cortocircuitada que radia en un modo omniazimutal por medio del uso de pines cortocircuitados y elementos concentrados, sustituidos posteriormente por *stubs*.

Para desarrollar este trabajo, se han realizado diversas simulaciones de diferentes diseños de antena, las cuales presentan buenos niveles de adaptación en las bandas de 1GHz y 2GHz y tanto los diagramas como los niveles de ganancia obtenidos de las mismas son adecuados. No obstante, puesto que la construcción real de cada una de esas antenas simuladas resultaba inviable, se optó por construir la última antena mostrada: una antena de parche, cortocircuitada por cuatro pines centrales, alimentada por sonda coaxial convencional y que presenta un *stub* en corto. Esta antena radia en modo cero y se ha logrado adaptarla manteniendo un ancho de banda apreciable a 1GHz.

Para simular las mencionadas antenas se ha hecho uso del programa *CST Microwave Studio 2010*. Los resultados que progresivamente se han ido obteniendo de las sucesivas simulaciones, tras el ajuste y la optimización del conjunto, han posibilitado avanzar orientando el estudio de acuerdo con ellos. En todos los casos se ha trabajado valiéndose de materiales y distancias que permitieran efectivamente la construcción real de las respectivas antenas fácil y eficazmente.

Por todo lo anterior, desde un punto de vista de ingeniería, se puede afirmar, por un lado, que es posible mejorar la adaptación de un parche cortocircuitado utilizando elementos concentrados y distribuidos y, por otro, que la alimentación mediante sonda coaxial modificada no presenta ventajas en este modelo y, sin embargo, sí en el caso del parche convencional.

En lo que se refiere a la antena finalmente construida, ésta no sólo devuelve unos resultados ciertamente similares a los obtenidos en las simulaciones, sino que además mejora las existentes actualmente, desde el punto de vista del nivel de adaptación y del ancho de banda.

Para concluir, y abriendo con ello una futura línea de investigación, a propuesta del tutor, se decidió llevar a cabo un último ensayo consistente en incorporar un segundo resonador al diseño. Con ello, no sólo se conseguiría mejorar la adaptación de la antena al incorporarle el primer *stub*, sino que, previsiblemente, además, se podría lograr también un ensanchamiento de la banda original tal y como se muestra en la Figura VI.1.

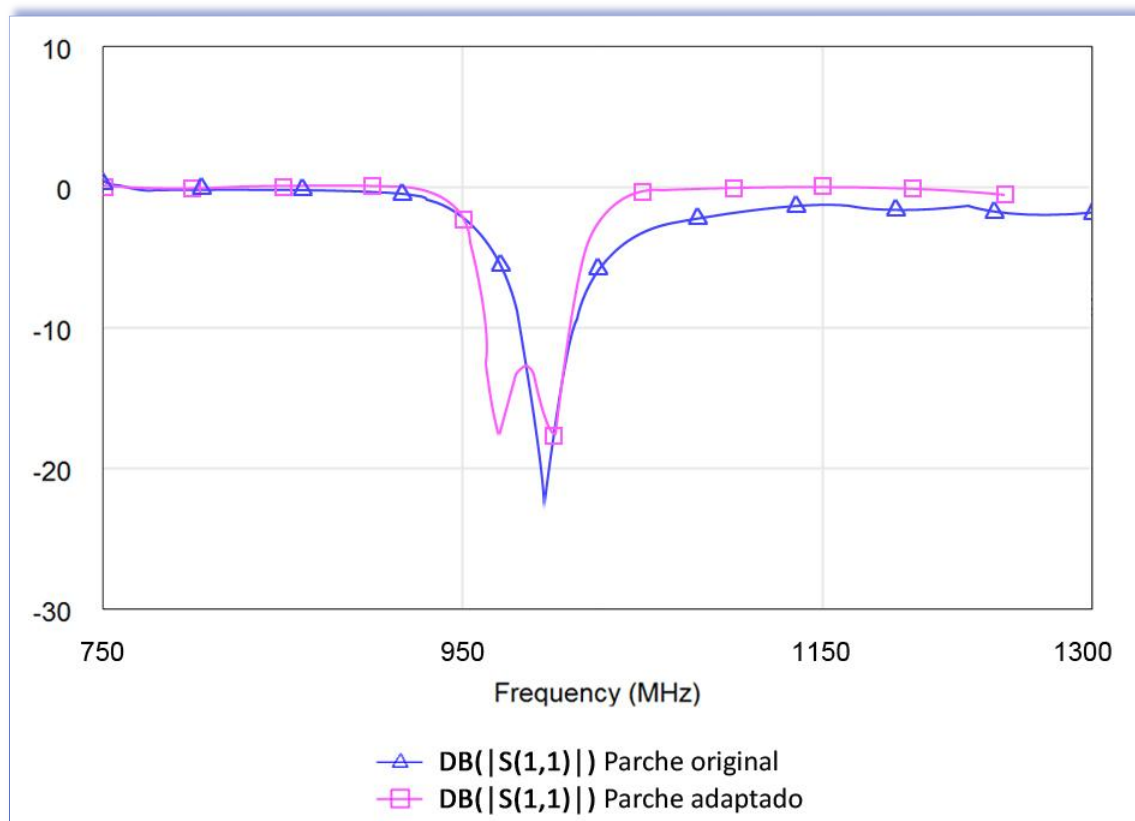


FIGURA VI.1: S11 CON COMPARATIVA DE LOS PARCHES CIRCULARES CORTOCIRCUITADOS CON UN *STUB* Y MODIFICADO

RELACIÓN DE FIGURAS

FIGURA I.1:	ANTENA DE PARCHE SIMPLE CON METALIZACIONES CIRCULAR Y RECTANGULAR	6
FIGURA I.2:	EJEMPLO DE DESBORDAMIENTO DE CAMPO E EN ANTENA DE PARCHE	6
FIGURA I.3:	ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON LÍNEA DE TRANSMISIÓN	8
FIGURA I.4:	ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL	9
FIGURA I.5:	ANTENAS CON EL PARCHE CIRCULAR, RECTANGULAR Y ANULAR ALIMENTADAS CON Sonda COAXIAL MODIFICADA	10
FIGURA I.6:	CIRCUITO EQUIVALENTE A UNA ANTENA DE PARCHE CONVENCIONAL	10
FIGURA I.7:	ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN DE ACOPLO POR RANURA	11
FIGURA I.8:	ANTENA MICROSTRIP ALIMENTADA CON ACOPLO ELECTROMAGNÉTICO	12
FIGURA II.1:	MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE. MODO BROADSIDE	14
FIGURA II.2:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE. MODO BROADSIDE	15
FIGURA II.3:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL MODIFICADA	16
FIGURA II.4:	ESTRUCTURA FÍSICA DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL MODIFICADA	16
FIGURA II.5:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL MODIFICADA. MODO BROADSIDE	17
FIGURA II.6:	MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL MODIFICADA. MODO BROADSIDE	17
FIGURA II.7:	S ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA	18
FIGURA II.8:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA	18
FIGURA II.9:	S ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE PARCHES	19
FIGURA II.10:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE PARCHES	19
FIGURA II.11:	S ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DEL RADIO DEL PARCHE PEQUEÑO	20
FIGURA II.12:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON Sonda COAXIAL MODIFICADA EN FUNCIÓN DEL RADIO DEL PARCHE PEQUEÑO	20
FIGURA II.13:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON Sonda COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA. MODO BROADSIDE	22
FIGURA II.14:	S ₁₁ CON COPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR PARA LOS CASOS ALIMENTADOS CON Sonda COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA	23

FIGURA II.15:	CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR PARA LOS CASOS ALIMENTADOS CON SONDA COAXIAL SIMPLE Y MODIFICADA	23
FIGURA II.16:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CON CORTOCIRCUITO CENTRAL. MODO CERO	24
FIGURA II.17:	ESTRUCTURA FÍSICA DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA	25
FIGURA II.18:	MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA. MODO CERO	25
FIGURA II.19:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE UN DIPOLO	26
FIGURA II.20:	MEDIDAS DE LA ANTENA DE PARCHE CIRCULAR SIMPLE CORTOCIRCUITADA CON CUATRO PINES. MODO CERO	27
FIGURA II.21:	ANTENA DE PARCHE CON CORTOCIRCUITO CENTRAL MEDIANTE CUATRO PINES. MODO CERO	27
FIGURA II.22:	S ₁₁ CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL PARA LOS CASOS CORTOCIRCUITADOS MEDIANTE POSTE CENTRAL Y CUATRO PINES	28
FIGURA II.23:	CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL PARA LOS CASOS CORTOCIRCUITADOS MEDIANTE POSTE CENTRAL Y CUATRO PINES	28
FIGURA III.1:	ANTENA CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTO CONCENTRADO	30
FIGURA III.2:	ANTENA CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y ELEMENTO CONCENTRADO (AMPLIADA)	31
FIGURA III.3:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON CONDENSADOR EN PARALELO Y BOBINA EN PARALELO. MODO BROADSIDE	32
FIGURA III.4:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON CONDENSADOR EN PARALELO Y BOBINA EN PARALELO. MODO CERO	34
FIGURA III.5:	S ₁₁ CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON CONDENSADOR Y BOBINA EN PARALELO	35
FIGURA III.6:	CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON CONDENSADOR Y BOBINA EN PARALELO	35
FIGURA IV.1:	EJEMPLO DEL ENTORNO DE TRABAJO DEL <i>Microwave Office</i>	36
FIGURA IV.2:	IMPLANTACIÓN DE <i>STUB</i> EN ABIERTO EN ANTENA DE PARCHE CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA	37
FIGURA IV.3:	S ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y <i>STUB</i> EN ABIERTO	37
FIGURA IV.4:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y <i>STUB</i> EN ABIERTO	38
FIGURA IV.5:	IMPLANTACIÓN DE <i>STUB</i> EN CORTO EN ANTENA DE PARCHE CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA	38
FIGURA IV.6:	S ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y <i>STUB</i> EN CORTO	39

FIGURA IV.7:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA Y <i>STUB</i> EN CORTO	39
FIGURA IV.8:	<i>S</i> ₁₁ CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON <i>STUB</i> EN CORTO Y EN ABIERTO	40
FIGURA IV.9:	CARTA DE SMITH CON COMPARATIVA DEL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL MODIFICADA PARA LOS CASOS CON <i>STUB</i> EN CORTO Y EN ABIERTO	40
FIGURA IV.10:	ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA ALIMENTADA CON SONDA COAXIAL MODIFICADA. COMPARATIVA ENTRE MODELO CON <i>STUB</i> EN ABIERTO Y EN CORTO. MODO CERO	41
FIGURA V.1:	VISIÓN GENERAL DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y <i>STUB</i> EN CORTO	44
FIGURA V.2 :	VISIÓN INTERIOR DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y <i>STUB</i> EN CORTO	44
FIGURA V.3:	BASE DE ANTENA DE PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADA CON 4 PINES Y <i>STUB</i> EN CORTO	45
FIGURA V.4:	<i>S</i> ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	46
FIGURA V.5:	CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	47
FIGURA V.6:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	47
FIGURA V.7:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN EL PLANO ZY DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO (CAMPO ELÉCTRICO ABSOLUTO)	48
FIGURA V.8:	DIAGRAMA DE RADICACIÓN EN EL PLANO XY DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO (CAMPO ELÉCTRICO ABSOLUTO)	48
FIGURA V.9:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE THETA PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ	49
FIGURA V.10:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE THETA EN 3D PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ	50
FIGURA V.11:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE PHI PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ	51
FIGURA V.12:	DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA COMPONENTE PHI EN 3D PARA LOS PLANOS XY, XZ E YZ	52
FIGURA V.13:	CONSTRUCCIÓN DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	53
FIGURA V.14:	RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DEL <i>S</i> ₁₁ DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	54
FIGURA V.15:	RESULTADOS DE LAS MEDIDAS EN LA CARTA DE SMITH DEL PARCHE CIRCULAR FINAL OPTIMIZADO CORTOCIRCUITADO Y <i>STUB</i> EN CORTO	55
FIGURA VI.1:	<i>S</i> ₁₁ CON COMPARATIVA DE LOS PARCHES CIRCULARES CORTOCIRCUITADOS CON UN <i>STUB</i> Y MODIFICADO	57

RELACIÓN DE TABLAS

TABLA V-1:	PARÁMETROS FINALES ELEGIDOS PARA OPTIMIZAR EL PARCHE CIRCULAR CORTOCIRCUITADO CON 4 PINES, STUB EN CORTO Y ALIMENTADO CON SONDA COAXIAL SIMPLE	45
TABLA V-2:	TABLA COMPARATIVA ENTRE LOS RESULTADOS SIMULADOS Y LOS REALES	55

BIBLIOGRAFÍA

(Por orden de mención en el texto)

- i** J. R. James and P. S. Hall. "Handbook of Microstrip Antennas". IEEE, Electromagnetic Waves Series 28 - Peter Peregrinus LTD - 1989
- ii** Y. Lin and L. Shafai. Properties of Centrally Shorted Circular Patch Microstrip Antennas. In Antennas and Propagation Society International Symposium, 1990. AP-S. Merging Technologies for the 90's. Digest., pages 354-357 vol.1. Mayo 1990.
- iii** L. Economou and R.J. Langley. Patch antenna equivalent to simple. Monopole. Electronics Letters 24th April 1997 Vol. 33 No. 9.
- iv** Al-Zoubi, Fan Yang, and A. Kishk. A low-profile dual-band surface wave antenna with a monopole-like pattern. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 55(12):3404-3412. Diciembre 2007.
- v** Gordon Mayhew-Ridgers, Johann W. Odendaal, and Johan Joubert. Single-Layer Capacitive Feed for Wideband Probe-Fed Microstrip Antenna Elements. IEEE Transactions on antennas and propagation, VOL. 51, NO. 6. Junio 2003.
- vi** Quevedo-Teruel, O., Torres, E. PFC Optimización y diseño de antenas de parche. UC3M. Marzo 2011.
- vii** K. L. Lau. A Wide-Band Monopolar Wire-Patch Antenna for Indoor Base Station Applications Member, IEEE, and K. M. Luk, Fellow, IEEE.
- viii** 1998-2002 CST Computer Simulation Technology. [en línea].
<http://www.cst.com/Content/Products/MWS/Solvers.aspx>
- ix** 2008 AWR Design Environment (Micro Wave Office). [en línea]
<http://web.awrcorp.com/Usa/Products/Microwave-Office/>

- x** González-Posadas, V., Segovia-Vargas D., Rajo-Iglesias, E., Vázquez-Roy, J.L. and Martín-Pascual, C. Approximate analysis of short circuited ring patch antenna working at TM₀₁ mode. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 54(6):1875-1879. Junio 2006.
- xi** Jecko and C. Decroze. The 'monopolar wire patch antenna' concept. In Antennas and Propagation, 2007. EuCAP 2007. The Second European Conference on, pages 1-5. Noviembre 2007.
- xii** Quevedo-Teruel, O., Rajo-Iglesias, E. "Design of Short-Circuited Ring-Patch Antennas Working at TM₀₁ Mode Based on Neural Networks", Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE , vol.5, no.1, pp.559-562. Diciembre 2006.